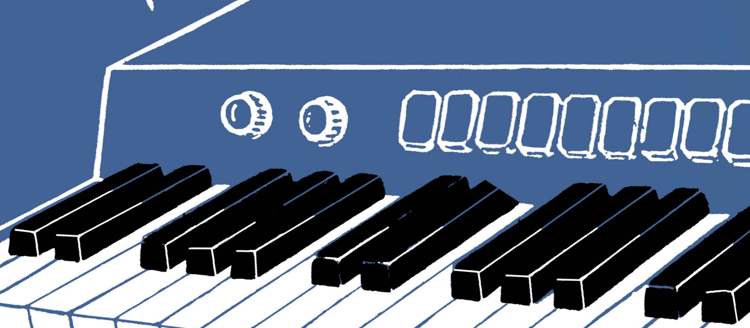
Л. Т. Вингрис
Ю. А. Скрин

# ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ МНОГОГОЛОСНЫХ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

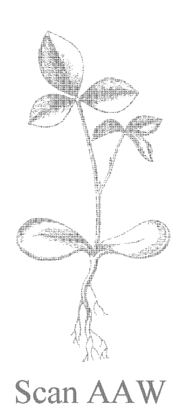
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

*Выпуск 554*

Л. Т. ВИНГРИС, Ю. А. СКРИН

# ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ КОНСТРУКЦИИ МНОГОГОЛОСНЫХ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

*Издание второе, переработанное и дополненное*







ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 681 828
В 48

*Рассматриваются различные схемы и конструкции узлов многоголосных электромузыкальных инструментов (электроорганов) и даются подробные описания разработанных авторами конструкций.*

*Брошюра рассчитана на радиолюбителей, занимающихся конструированием электромузыкальных инструментов.*

## СОДЕРЖАНИЕ



*Вингрис Лаймонис Теодорович, Скрин Юрий Александрович*

**Любительские конструкции многоголосных электромузыкальных инструментов.** М.—Л., издательство „Энергия", 1964.

72 стр. с илл (Массовая радиобиблиотека Вып. 554).

Тематический план 1964 г , № 372

Редактор *И. Д. Симонов* Техн редактор *Н. А. Бульдяев*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 4/VII 1964 г. Подписано к печати 23/IX 1964 г.
Т 13337 Бумага 81×108¹/₃₂ Печ. л. 3,69 Уч.-изд. л. 4,94
Тираж 36 500 экз. Цена 20 коп. Зак. 1407

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
Шлюзовая наб , 10.

## ОТ РЕДАКТОРА

С каждым годом растет интерес наших радиолюбителей к вопросам конструирования и построения электронных музыкальных инструментов. Новые инструменты появляются на радиовыставках, звучат на эстраде, передаются по радио. Недалеко то время, когда наряду с балалайкой, баяном, гуслями и другими народными музыкальными инструментами появятся электромузыкальные инструменты.

Эти инструменты найдут широкое применение в быту, в коллективах художественной самодеятельности.

Однако надо предостеречь всех начинающих заниматься электромузыкой, от тех «детских» болезней, которые до сих пор сопутствуют движению в новую область искусства и техники. Прежде всего необходимо помнить о том, что нельзя применять современную электронику для получения фальшивых звуков. Изобилие статей с конструкциями электромузыкальных инструментов на мультивибраторах, используемых в качестве задающих генераторов, к сожалению, невольно тянет наше искусство назад.

Генераторная основа электромузыкального инструмента должна быть совершенно надежной. В этом отношении нельзя не отметить, что сложившийся стандарт построения электронных музыкальных инструментов с цепочками октавных делителей не обеспечивает полной надежности генераторного устройства, поскольку выход из строя одного делителя в верхнем регистре влечет за собой прекращение работы ряда делителей одноименных звуков. Кроме того, наличие математически точных октав еще отнюдь не означает, что музыкальный инструмент хорошо настроен. Дело в том, что фортепианный настройщик всегда немного расширяет интервал октавы по сравнению с его точным значением. Таким образом, математически точная октава иногда кажется несколько расстроенной.

Еще один существенный недостаток инструментов с октавными делителями состоит в том, что оказывается невозможным совместить генератор с манипулятором. Все это говорит о необходимости развития конструкций электромузыкальных инструментов с индивидуальными генераторами для каждой клавиши. За рубежом уже выпускаются органы на транзисторах, выполненные на подобной основе.

При конструировании электронных орга́нов надо помнить о том, что отсутствие манипулятора для каждой клавиши (а это имеет место в большинстве конструкций авторов книги) придает

звучанию некоторый «электрический акцент». Для устранения этого акцента мы можем рекомендовать радиолюбителям применение индивидуальных манипуляторов для каждой клавиши во всех вариантах электронных органов и фисгармоний.

Отдельные узлы электронных музыкальных инструментов описаны в этой книге достаточно подробно и вполне могут быть рекомендованы для радиолюбителей, начинающих работать в области электромузыки. По мере накопления опыта наиболее квалифицированным читателям можно рекомендовать начать экспериментальную работу по решению вопроса о генераторе-манипуляторе, обладающем необходимой стабильностью частоты во всех регистрах.

*И. Симонов*

## ВВЕДЕНИЕ

Многие из читателей, наверное, слышали величественные звуки орга́на — музыкального духового инструмента, в котором звуки возникают при продувании воздуха через трубы различных размеров и форм.

История органа уходит глубоко в древность. В середине III в. до нашей эры греческий музыкант Ктесибиус много работал над усовершенствованием музыкальных труб, а один из его учеников написал книгу о духовых музыкальных инструментах и создал музыкальный инструмент «гидравлик», который явился родоначальником современных органов. Название «орган» было дано этому музыкальному инструменту в древнем Риме.

Следует отметить, что именно на органе впервые появилось знакомое нам чередование черных и белых клавишей (такое же, как на рояле и аккордеоне). В первых органах клавиши делались огромных размеров, и органист играл не пальцами — он бил и надавливал на клавиши кулаками. Недаром в те времена органистов называли «стукальщиками».

В X в. нашей эры орган был значительно усовершенствован и давал уже возможность получать различные тембры. В следующем веке звучание органа сделали многоголосным С XIV в. клавиатура органа приобрела современный вид, появилась ножная клавиатура и число труб значительно возросло. Конструкции органов все время совершенствовались, а с развитием электротехники управление органами стало производиться при помощи электричества.

За все время своего существования орган непрерывно усложнялся и становится все мощнее. Ни один другой музыкальный инструмент не вобрал в себя столько изобретений и усовершенствований, ни один не достиг таких гигантских размеров Орган явился родоначальником комнатных фисгармоний, а они — в свою очередь разного рода гармошек с раздвижными мехами (баянов, аккордеонов).

Современный духовой орган — чрезвычайно сложный по конструкции и большой по размерам инструмент. Он содержит огромное количество узлов и деталей. На рис. 1 показан внешний вид современного органа. В нем около 4 000 труб, три ручные клавиатуры (мануали) и одна ножная (педаль). Самая большая труба имеет длину около 5 *м*, а самая маленькая — около 4 *см* Каждой клавиатуре соответствуют регистры — своего рода переключатели тембров, расположенные сбоку и под пультом Огромное количество труб органа вызвано необходимостью иметь для каждого тембра свои отдельные трубы.

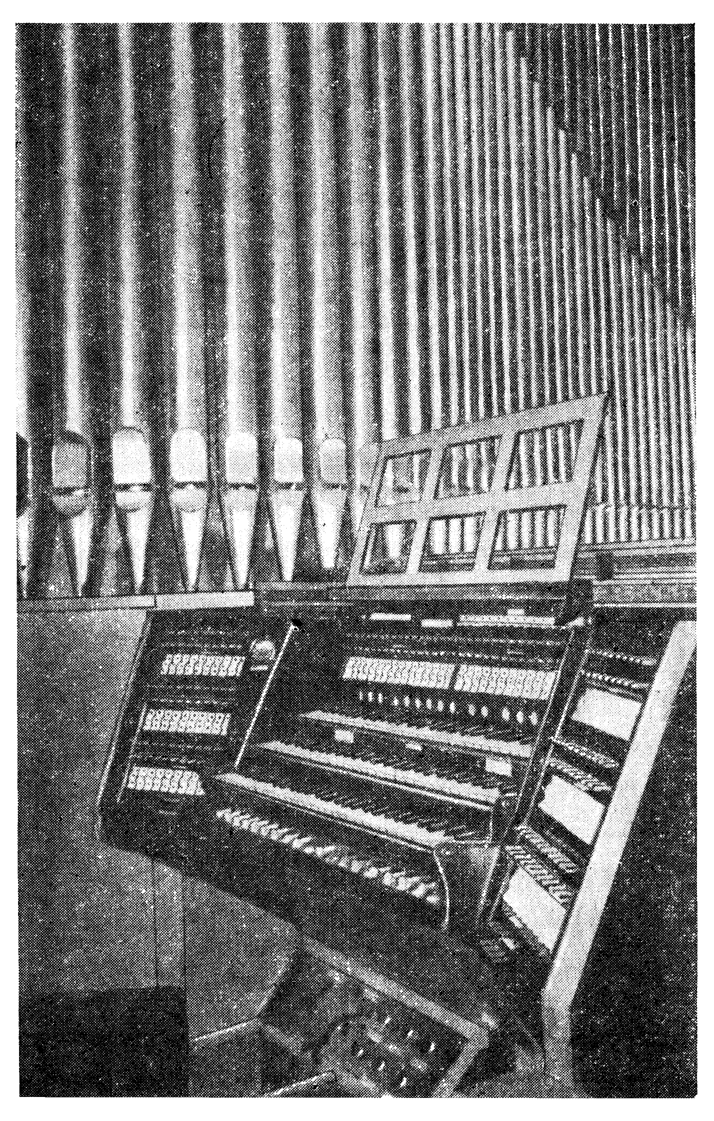


Рис. 1. Орга́н Латвийского государственного университета (г. Рига).

В связи с развитием электроники стала возможной постройка органов, работа которых основана на других принципах. Теперь звучанию органа подражают, подводя к громкоговорителю переменное напряжение специальной формы. В таком «электрооргане» в отличие от духовых органов сравнительно легко осуществить управление тембрами.

Первый «чисто электрический» орган был построен американцем Кахиллом еще в прошлом столетии. Этот инструмент представлял собой целую «музыкальную электростанцию» с электромеханическими генераторами, вырабатывавшими переменные напряжения звуковых частот. Так как в ту пору не существовало ни усилителей низкой частоты, ни громкоговорителей, для прослушивания этого 200-тонного гиганта, занимавшего целое здание, приходилось пользоваться примитивными телефонами. Тем не менее структура этого органа была правильной и по ней с некоторыми изменениями строятся современные электронные органы.

В 20-х и 30-х годах появилось множество различных конструкций электромузыкальных инструментов. Из них следует отметить электроорган чикагского часовщика Хаммонда, который явился улучшенным вариантом органа Кахилла. В нем электрические колебания звуковых частот также получались при помощи вращающихся электромеханических генераторов, но были использованы электронные усилители и громкоговорители.

Позднее электроорганы строились целиком на электронике. В наше время серийно выпускаются электроорганы самых разнообразных конструкций. Наибольшее распространение получили электроорганы Миншелла, Аллена, Вурлицера, Шобера, Гульбрансена и др. Многие конструкции выполнены полностью на полупроводниках. У нас эстрадные ансамбли применяют переносный многоголосный электромузыкальный инструмент «Ионика» производства ГДР.

Теперь на органе исполняют различные по жанру музыкальные произведения. Многие музыкальные произведения известных композиторов написаны специально для духовых органов. На электрооргане же чаще всего исполняются джазовые и эстрадные произведения. При этом он обычно используется совместно с другими музыкальными инструментами. К сожалению, наши композиторы еще не обратили должного внимания на возможности электромузыки и ими не написано почти ни одного значительного музыкального произведения для электрооргана.

В развитии электромузыкальных инструментов существуют два направления: создание одноголосных и многоголосных конструкций. На одноголосном электромузыкальном инструменте можно одновременно получить только один звук, а на многоголосном — любое количество звуков (в пределах данной клавиатуры). По конструкции и принципу работы одноголосные инструменты значительно проще многоголосных. Однако работа одноголосных инструментов недостаточно стабильна и добиться хороших результатов при постройке таких инструментов в любительских условиях очень трудно. Это отчасти объясняется тем, что в одноголосных инструментах в качестве генераторов тона обычно применяется один генератор, частоту которого меняют путем изменения сопротивления. Распределение общего сопротивления генератора тона по разным участкам клавиатуры неодинаково. Вследствие этого настройка и подстройка инструмента под какой-либо аккомпанирующий инструмент сильно

усложняется, так как необходимо настраивать каждую «клавишу» отдельно. Применение общей ручки настройки инструмента приводит к заметному нарушению музыкального строя. Другим крупным недостатком одноголосного электромузыкального инструмента является то, что скачкообразное изменение сопротивления при нажатии клавиши вызывает переходные процессы в генераторе. Они прослушиваются в виде неприятных щелчков, борьба с которыми весьма затруднительна. Поэтому одноголосные инструменты не получили широкого распространения, несмотря на их сравнительную простоту.

Многоголосные электромузыкальные инструменты свободны от перечисленных выше недостатков: их настройка и подстройка осуществляются очень просто. Щелчков, вызываемых нажатием клавишей, не возникает. Многоголосное красивое звучание позволяет использовать такие инструменты как сольные. Все это оправдывает те затраты и труд, которые требуются от радиолюбителя при постройке многоголосных инструментов.

До последнего времени вопросами конструирования электромузыкальных инструментов занимался лишь очень узкий круг специалистов, а конструкции электромузыкальных инструментов не выходили из стен лабораторий. Несмотря на это, интерес музыкантов и радиолюбителей к электромузыкальным инструментам все время рос. Теперь конструированием музыкальных инструментов занимаются как отдельные радиолюбители, так и целые группы энтузиастов, встречающие при конструировании на своем пути большие трудности из-за отсутствия литературы по этим вопросам.

Приведенные в брошюре конструкции многоголосных электромузыкальных инструментов являются попыткой создания простых современных музыкальных инструментов, доступных для конструирования широкому кругу радиолюбителей. Не следует считать эти конструкции пределом радиолюбительских возможностей. Несомненно, в дальнейшем творческая мысль радиолюбителей найдет новые конструктивные решения, новые идеи по усовершенствованию конструкций.

Нам кажется, что усовершенствование любительских конструкций многоголосных электромузыкальных инструментов должно идти в следующих основных направлениях: 1) применение нескольких клавиатур, что значительно расширяет исполнительские возможности, так как позволяет выделить мелодию из аккомпанемента как по громкости, так и по тембру; 2) применение искусственной реверберации, что дает возможность получить наилучшее звучание электромузыкального инструмента в любом помещении; 3) повышение надежности работы электромузыкальных инструментов, особенно переносных, с использованием новых элементов схемы. Есть еще, конечно, много других, ожидающих своего решения задач по усовершенствованию электромузыкальных инструментов.

## МУЗЫКАЛЬНЫЙ СТРОЙ И ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Качество звучания того или иного музыкального инструмента человек оценивает на слух. Человеческое ухо, являющееся органом слуха — прекрасный акустический прибор. Его замечательные свойства проявляются как в величине воспринимаемого диапазона ча-

стот (примерно 16—20 000 *гц*), так и в величине диапазона чувствительности (отношение максимальной воспринимаемой ухом без боли мощности звука к минимальной, еще воспринимаемой ухом, выражается числом $10^{13}$). Наибольшую чувствительность ухо имеет на частоте около 4 000 *гц*. Ухо довольно чувствительно и к изменению высоты тона (частоты колебаний звуковой волны). Оно способно различать изменение частоты колебаний на 0,3%, что соответствует примерно $^1/_{14}$ полутона. Интересной особенностью человеческого слуха является то обстоятельство, что изменения интенсивности звука (мощности звуковой волны, приходящейся на единицу площади) и ощущаемой человеком громкости находятся в логарифмической зависимости. Например, при изменении интенсивности звука в 100 раз ощущаемая громкость изменяется на 20 *дб*, при изменении интенсивности в 1 000 раз на 30 *дб* и т. д.

Звук любого музыкального инструмента состоит из колебаний с различными частотами, кратными основной частоте (обертонов). За основную частоту принимается самая низкая из частот, составляющих звук. Основной частотой определяется высота тона. Диапазон основных частот музыкальных инструментов лежит в пределах 16—4 000 *гц*. Наличие тех или иных обертонов придает звучанию каждого инструмента его характерные особенности. Например, звук скрипки содержит большое количество обертонов (около 20), а звук флейты почти не содержит их. Для хорошего воспроизведения звучания музыкальных инструментов радиотехническими средствами необходимо воспроизводить полосу частот 30—15 000 *гц*.

Надо сказать несколько слов и о динамическом диапазоне отдельных музыкальных инструментов и оркестра. Динамическим диапазоном называется отношение мощности звука при исполнении «фортиссимо» к мощности звука при исполнении «пианиссимо» (фортиссимо — исполнение музыкального произведения с максимальной, а пианиссимо — с минимальной громкостью). Оказывается, что динамический диапазон даже для человеческой речи составляет около $10^6$, а для большого оркестра достигает $10^7$. Отсюда ясно, что воспроизвести весь частотный звуковой диапазон при современном уровне развития радиотехники возможно, но воспроизведение всего динамического диапазона оказывается невозможным.

Музыкальный строй представляет собой ряд звуков, находящихся в определенной частотной зависимости. Звуки музыкального строя образуют музыкальные интервалы. Главный интервал — октава — соответствует соотношению частот двух тонов 2 : 1. Помимо главного, существуют другие интервалы. В табл. 1 даны интервалы (в пределах октавы) относительно «до» (на белых клавишах).

Строй у разных музыкальных инструментов различен. Это необходимо усвоить, так как многие считают, что все музыкальные инструменты имеют одинаковый строй. Различают две разновидности музыкального строя: диатонический и темперированный. Диатонический строй имеют самые старинные духовые инструменты, а темперированный — клавишные и почти все щипковые. Октава диатонической гаммы имеет всего лишь семь звуков. В темперированной же гамме октава разделена на 12 одинаковых полутонов. Отношения частот интервалов темперированного строя находятся в логарифмической зависимости и выражаются формулой $\sqrt[12]{2^n}$, где $n$ — количество полутонов в интервале. Осуществлять клавиш-

Таблица 1

| Интервалы | Название интервалов | Соотношения частот | |
|---|---|---|---|
| | | диатонического строя | темперированного строя |
| До — ре . . . . . | Большая секунда | 9:8=1,125 | 1,123 |
| До — ми . . . . . | „ терция | 5:4=1,250 | 1,262 |
| До — фа . . . . . | Чистая кварта | 4:3=1,333 | 1,335 |
| До — соль . . . . | „ квинта | 3:2=1,500 | 1,498 |
| До — ля . . . . . | Большая секста | 5:3=1,667 | 1,682 |
| До — си . . . . . | „ септима | 15:8=1,875 | 1,885 |
| До — до . . . . . | Октава | 2:1=2,000 | 2,000 |

ные инструменты с диатоническим строем нецелесообразно, так как при этом потребовалось бы иметь в каждой октаве клавиатуры только семь клавишей, что было бы крайне неудобно.

Перейдем теперь к рассмотрению блок-схемы многоголосных электромузыкальных инструментов.

Несмотря на большое разнообразие конструкций таких инструментов, почти все они строятся по одному принципу. Может показаться, что наиболее простой конструкцией будет такая, в которой каждая клавиша имеет свой отдельный генератор тона. Однако в этом случае от генератора тона требуется довольно высокая стабильность частоты. Кроме того, подобный инструмент очень сложно настраивать и перестраивать. Такая схема построения многоголосного электромузыкального инструмента в любительских условиях неприменима и поэтому рассматриваться не будет.

Наибольшее распространение как в промышленных, так и в любительских конструкциях получили схемы многоголосных электромузыкальных инструментов с октавным преобразованием частоты. Принцип работы такого инструмента заключается в том, что при делении или умножении частоты колебаний в 2 раза высота тона понижается или повышается на одну октаву. Конструкции с октавным преобразованием частоты имеют небольшое количество стабильных генераторов, которые служат только для синхронизации преобразователей (делителей или умножителей частоты), причем целесообразно применять не умножение, а деление частоты, так как генераторы для высших звуковых частот несколько проще в изготовлении, нежели для низших.

Генераторы, которые мы в дальнейшем будем называть задающими, настраиваются на самые высокие основные частоты инструмента. Очевидно, для каждого из 12 звуков верхней октавы необходимо иметь отдельный задающий генератор и ряд связанных с ним делителей частоты. Особенностью такой схемы является возможность одновременной настройки всех одноименных тонов. Например, при изменении частоты задающего генератора тона «до» верхней октавы одновременно меняются частоты делителей тона «до» всех остальных октав. Отсюда ясно, что настройка такого инструмента сводится к настройке одних задающих генераторов.

Блок-схема инструмента с октавным преобразованием частоты изображена на рис. 2. Первые делители частоты $Л_7$—$Л_{12}$ только преобразуют синусоидальное напряжение, вырабатываемое задающими генераторами, в пилообразное. Каждый из последующих делит частоту напряжения на выходе предыдущего каскада на два.

При нажатии клавиши напряжение соответствующей частоты подается на общий предварительный усилитель, а с выхода усилителя — на темброблок, где форма кривой напряжения преобразуется соответствующим образом. С выхода темброблока напряжение звуковой частоты поступает на регулятор громкости (обычно выполненный в виде педали), затем на усилитель низкой частоты и с последнего — на акустический апрегат. Генератор вибрато настроен на частоту 5—7 *гц*. Воздействуя одновременно на все задающие генераторы, он периодически меняет их частоты в небольших пределах. Этим достигается более красивое звучание инструмента.

Блок-схема многоголосного электромузыкального инструмента, приведенная на рис. 3, отличается от предыдущей тем, что вместо 12 задающих генераторов здесь имеется только семь. Это оказалось возможным вследствие того, что интервал «квинта» соответствует почти одинаковому отношению частот как в диатоническом, так и в темперированном строе (1,500 и 1,498 соответственно). Благодаря этому возможна синхронизация делителей частоты двух различных тонов, находящихся в интервале «квинта», от одного и того же задающего генератора. Сами же задающие генераторы должны быть настроены на частоты соответствующих тонов, лежащих на октаву выше самой верхней октавы инструмента. В остальном эта блок-схема ничем не отличается от предыдущей.

Применение семи задающих генераторов вместо 12 сильно облегчает настройку инструмента. Однако следует отметить, что в электромузыкальном инструменте, собранном по блок-схеме с семью задающими генераторами, будет заметно нарушение музыкального строя, появляющееся вследствие допущения равенства интервала «квинта» темперированного и диатонического строев. Схему с семью задающими генераторами рекомендуется применять для малогабаритных переносных электромузыкальных инструментов, содержащих не более четырех октав.

Для постройки многоголосного электромузыкального инструмента по любой из приведенных блок-схем требуется значительное количество радиоламп или транзисторов. Так, например, инструмент на четыре октавы, собранный по схеме с 12 задающими генераторами, должен иметь 32—33 двойных триода или 64—65 транзисторов, не считая усилителя низкой частоты.

Можно ли построить многоголосный электромузыкальный инструмент, используя значительно меньшее количество радиодеталей? В принципе это, конечно, возможно, но практически осуществить трудно. Предположим, что число одновременно нажатых клавишей будет не более десяти. Тогда потребуется только десять генераторов тона, частоты которых должны определяться величинами сопротивлений, включаемых при нажатии клавишей в соответствующие цепи генераторов. Такой инструмент должен иметь сложную систему контактов, включаемых нажатием клавишей. Необходимым условием удовлетворительной работы его является высокая стабильность величин сопротивлений, включаемых в цепи генераторов. Наличие же большого количества последовательно включенных кон-

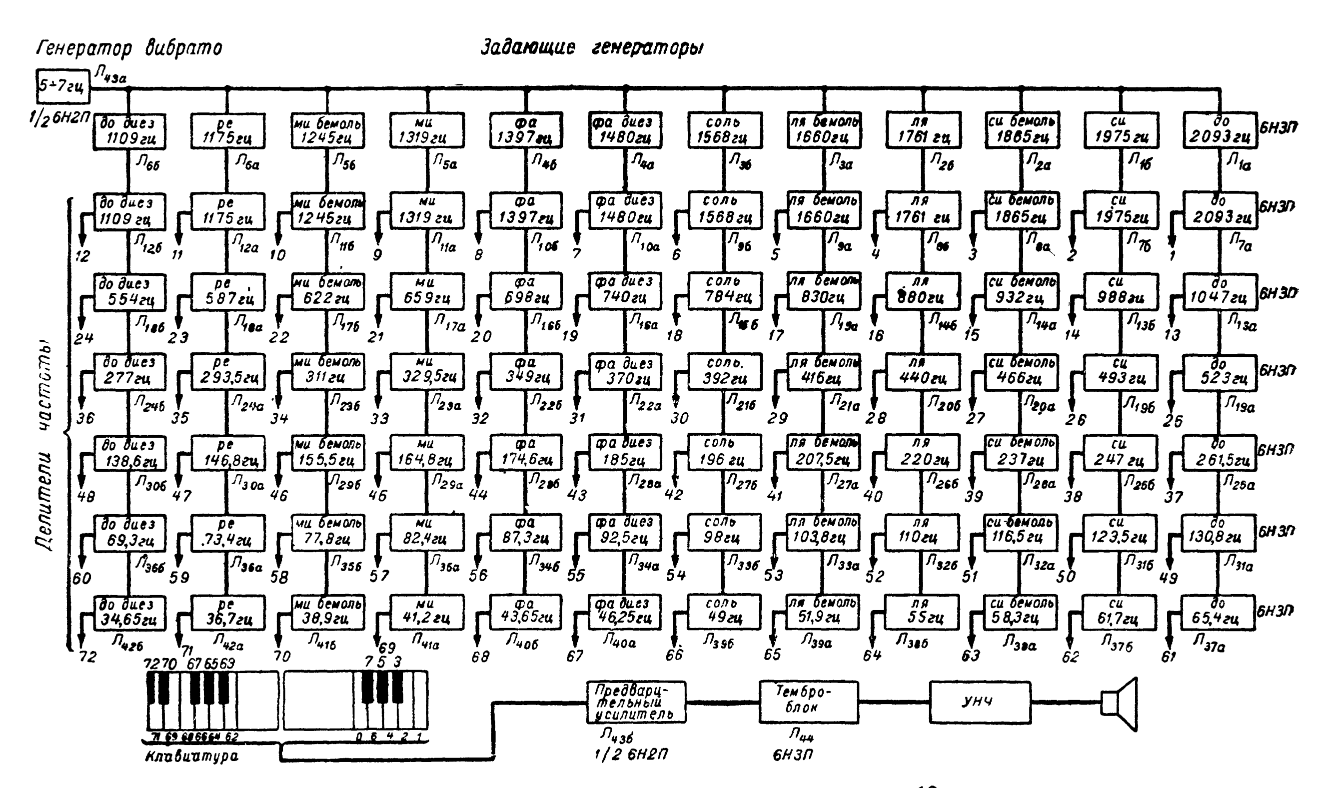



Рис. 2. Блок-схема многоголосного электромузыкального инструмента с 12 задающими генераторами.

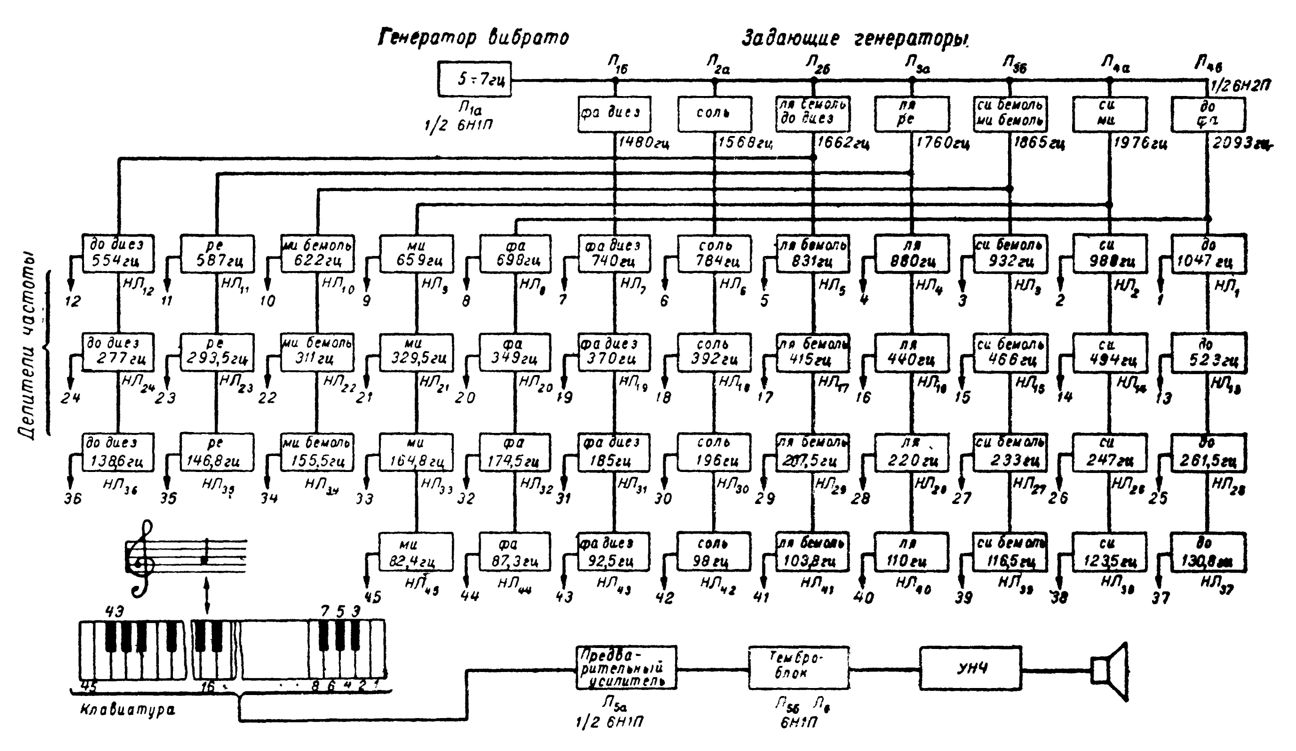



Рис. 3. Блок-схема многополосного электромузыкального инструмента с семью задающими генераторами

тактов сильно снижает надежность работы инструмента. Попытки авторов создать такой инструмент не увенчались успехом, и поэтому приведенные выше блок-схемы, включающие большое количество радиоламп и деталей, пока представляют собой единственный путь к получению хороших результатов в любительских условиях.

## ЗАДАЮЩИЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Одним из основных узлов многоголосного электромузыкального инструмента является блок задающих генераторов низкой частоты. От стабильности их частоты зависит стабильность работы электромузыкального инструмента в целом, т. е. стабильность его музыкального строя. Существует много разных схем генераторов низкой частоты с самовозбуждением. Наиболее стабильными являются генераторы синусоидального напряжения, которые и используются

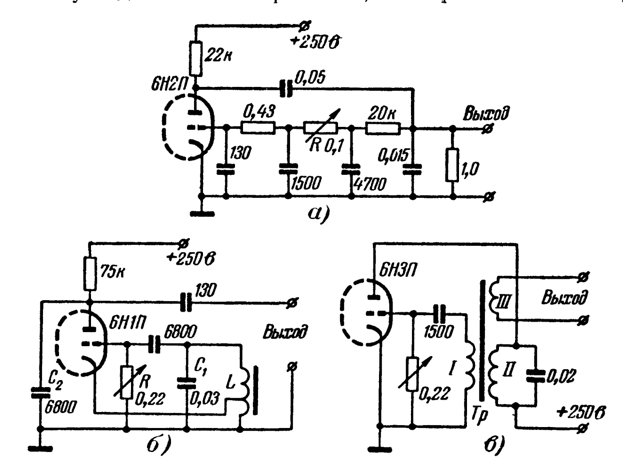



Рис. 4. Схемы задающих генераторов на электронных лампах.

*а* — *RC*-генератор; *б* — *LC*-генератор с автотрансформаторной обратной связью; *в* — *LC*-генератор с трансформаторной обратной связью.

в многоголосных электромузыкальных инструментах. Для ламповых задающих генераторов целесообразно применять двойные триоды (6Н1П, 6Н2П, 6Н9С и др.), а для транзисторных генераторов — любые транзисторы с достаточным коэффициентом усиления.

Для любительских электромузыкальных инструментов необходимо применять лишь те схемы генераторов, которые просты в изготовлении, налаживании и вместе с тем имеют минимальное количество деталей. Для этого можно рекомендовать *RC*- и *LC*-генераторы, схемы которых приведены на рис. 4 и 5.

На рис. 4,*а* показана распространенная схема *RC*-генератора с фазовращающими ячейками. Необходимый сдвиг фаз для само-

возбуждения создается при помощи ячеек из сопротивлений и конденсаторов. Для надежной работы такого генератора следует брать не менее четырех ячеек. В ламповых $RC$-генераторах рекомендуется применять так называемые прогрессивные фазовращающие цепочки. Прогрессивной называют цепочку, составленную из ячеек $RC$, в которой сопротивление каждой последующей ячейки в определенное число раз больше, а емкость во столько же раз меньше соответствующих величин у элементов предыдущей ячейки. При использовании прогрессивных цепочек значительно уменьшается необходимый для самовозбуждения генератора коэффициент усиления лампы. Плавное изменение частоты генератора в некоторых пределах осуществляется при помощи сопротивления $R$. Величины всех конденсаторов и сопротивлений схемы (кроме $R$) могут быть одинаковыми для всех задающих генераторов инструмента.

Для настройки и подстройки инструмента необходимо, как правило, менять частоты задающих генераторов в пределах только одного тона. Поэтому вместо одного сопротивления $R$ целесообразно включить в схему небольшое переменное сопротивление (порядка 25 *ком*) и последовательно с ним постоянное сопротивление, величина которого подбирается при первоначальном налаживании так, чтобы необходимая частота генерации была получена при среднем положении движка переменного сопротивления.

Генератор, собранный по такой схеме, работает стабильно, а значения входящих в схему емкостей и сопротивлений мало критичны. При указанных на рис. 4,*а* величинах элементов схемы частота генерируемого напряжения равна около 2 000 *гц*. Величина выходного напряжения генератора составляет около 30 *в*. Выходное сопротивление его велико, и это необходимо учитывать, соединяя генератор с делителем частоты. Недостатком схемы следует считать сравнительно большое число деталей.

$LC$-генераторы содержат меньше деталей. На рис. 4,*б* показана схема $LC$-генератора с автотрансформаторной обратной связью. Катушка контура $L$ имеет отвод от $1/3$ обмотки, считая от заземленного конца. Частоту колебаний генератора устанавливают при налаживании подбором емкости конденсатора $C_1$. Для более точной подстройки частоты служит переменное сопротивление $R$, которое целесообразно выполнить в виде последовательно соединенных постоянного и переменного сопротивлений. Синхронизирующее напряжение (30—40 *в*) снимается с анода лампы. Выход генератора высокоомный. Конденсатор $C_2$ необходим для создания условий самовозбуждения генератора. Остальные элементы схемы не нуждаются в пояснении. Катушка контура $L$ имеет сердечник из трансформаторных пластин Ш-20, разрезанных пополам, при толщине пакета 10 *мм*. Обмотка содержит 3 000 витков провода ПЭЛ 0,17 с отводом от 1 000-го витка. При указанных величинах элементов схемы частота генерируемого напряжения около 2 000 *гц*.

Еще одна схема задающего $LC$-генератора, но не с автотрансформатором, а с трансформатором приведена на рис. 4,*в*. Трансформатор *Тр* выполнен на сердечнике из трансформаторных пластин Ш-9. Обмотка *I* состоит из 1 000 витков, а обмотки *II* и *III* содержат по 300 витков провода ПЭЛ 0,12. Обмотка *III* служит для получения низкоомного выхода для синхронизации делителей частоты. Синхронизирующее напряжение можно снимать и с анода лампы, как это показано на рис. 4,*б*.

Из сказанного ясно, что изготовление катушек для $LC$-генераторов не представляет особого труда, так как генераторы настраиваются на самые верхние основные частоты инструмента (обычно не ниже 1 000 *гц*). Поэтому размеры катушек и сердечников невелики. Контурные катушки генераторов необходимо экранировать друг от друга для устранения взаимной связи. Кроме того, катушки не следует помещать в непосредственной близости от сильно нагревающихся деталей.

Следует, однако, учесть, что индуктивность катушки со стальным сердечником очень сильно зависит от марки материала сердечника и качества сборки его. Поэтому указанные данные катушек генераторов надо считать ориентировочными.

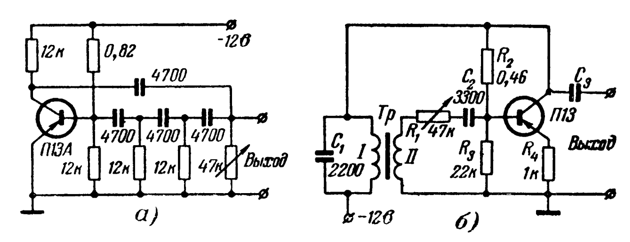



Рис. 5. Схемы задающих генераторов на транзисторах.

*а* — $RC$-генератор; *б* — $LC$-генератор с трансформаторной обратной связью.

На рис. 5,*а* дана схема транзисторного $RC$-генератора, принцип действия которого аналогичен принципу действия лампового генератора, изображенного на рис. 4,*а*. При использовании транзисторов в схемах $RC$-генераторов необходимо учитывать существенное отличие их от электронных ламп. В электронной лампе входное сопротивление во много раз больше выходного, а в транзисторе — наоборот. Кроме того, входные и выходные сопротивления у транзисторов значительно меньше, чем у электронных ламп. Поэтому величины элементов фазовращающих ячеек выбирают не только из расчета постоянной времени (произведения $RC$ для заданной частоты), но учитывают еще входное и выходное сопротивления транзистора. Если, например, сопротивление $R$ фазовращающих ячеек выбрать слишком большим, то ячейка, подключенная к базе, будет сильно шунтирована низким входным сопротивлением транзистора. Выбор же слишком малого значения сопротивления $R$ приводит к тому, что фазовращающая ячейка, подключенная к коллектору, будет сильно шунтировать выход транзистора. Как в одном, так и в другом случаях будут нарушены необходимые фазовые и амплитудные соотношения и самовозбуждения генератора не возникнет. Поэтому транзисторные $RC$-автогенераторы с прогрессивными фазовращающими цепями применять нецелесообразно.

Опыт показал, что автогенератор на транзисторе работает устойчиво только в том случае, если транзистор имеет достаточно большой коэффициент усиления по току (не менее 30). Так как задающий генератор работает на некоторую нагрузку (входное со-

противление первого делителя частоты), необходимый коэффициент усиления транзистора должен быть еще больше.

На рис. 5,*б* показана схема транзисторного *LC*-генератора. Она аналогична схеме лампового генератора, хотя и содержит большее число деталей, что необходимо для повышения стабильности частоты генерируемого напряжения. Сопротивления $R_2$, $R_3$ и $R_4$ служат для стабилизации рабочей точки транзистора. Не заблокированное емкостью сопротивление $R_4$ создает отрицательную обратную связь, что улучшает форму генерируемого напряжения и стабильность частоты. При помощи сопротивления $R_1$ можно в некоторых пределах регулировать частоту напряжения. Конденсатор $C_2$ является разделительным, а конденсатор $C_3$ служит для подачи синхронизирующего напряжения на делитель частоты (емкость конденсатора $C_3$ подбирается при наладке делителей частоты). Трансформатор *Тр* имеет сердечник из пластин трансформаторной стали Ш-9, толщина пакета 9 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 000, а обмотка *II* — из 500 витков провода ПЭЛ 0,12 Для всех задающих генераторов электромузыкального инструмента все элементы схемы могут быть одинаковыми, за исключением конденсатора $C_1$, емкость которого подбирают для получения необходимой частоты. При величинах элементов схемы, указанных на рис 5,*б*, частота генерируемого напряжения составляет около 2 000 *гц*. Подбором сопротивления $R_2$ устанавливают режим работы транзистора Коллекторный ток должен быть порядка 0,3—0,4 *ма*. Питание генераторов желательно производить от стабилизированных источников.

Первые опыты по исследованию стабильности частоты генераторов рассмотренных схем показали, что она вполне достаточна для использования их в качестве задающих генераторов в многоголосных электромузыкальных инструментах.

## ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Вторым основным узлом электромузыкального инструмента являются делители частоты, каждый из которых служит для октавного преобразования частоты, т е. для получения на выходе делителя колебаний, имеющих в 2 раза меньшую частоту по сравнению с частотой на входе.

Делители частоты, применяемые в электромузыкальных инструментах, можно разбить на две основные группы: делители с возбужденным генератором (активные) и делители с преобразованием формы подводимого переменного напряжения (пассивные).

К первой группе можно отнести мультивибраторы, блокинг-генераторы и релаксационные генераторы на неоновых лампах. Все они являются генераторами несинусоидальных колебаний. Деление частоты с помощью этих устройств основано на способности перечисленных генераторов легко синхронизироваться другим посторонним источником периодических электрических колебаний любой формы, если только частоты синхронизируемого и синхронизирующего генераторов приблизительно одинаковы или находятся в кратном соотношении.

Делители частоты, относящиеся ко второй группе, не являются генераторами электрических колебаний. Получение переменного напряжения на выходе таких делителей возможно лишь при наличии

переменного напряжения на их входе. Изменение частоты входного напряжения будет вызывать соответствующее изменение частоты напряжения на выходе.

Рассмотрим некоторые типы делителей частоты первой группы.

В электромузыкальных инструментах чаще всего используют блокинг-генераторы и релаксационные генераторы на неоновых лампах.

Применение мультивибраторов может быть оправдано только в одноголосных электромузыкальных инструментах. В многоголосных инструментах применять мультивибраторы нецелесообразно, так как при этом потребуются два триода для каждого делителя частоты.

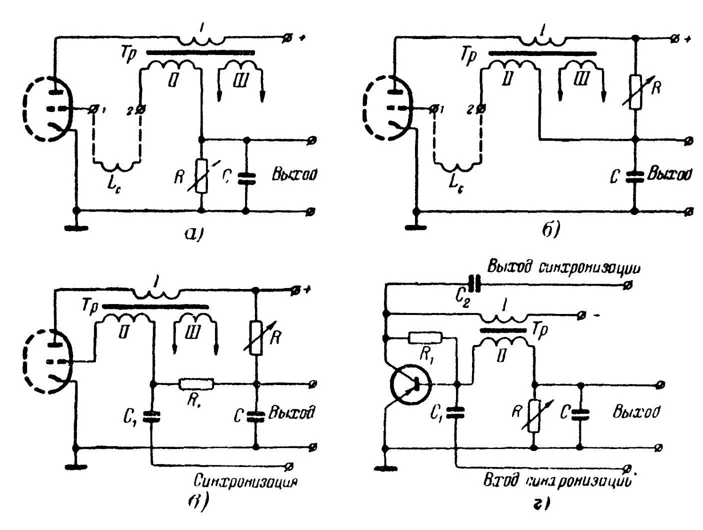



Рис. 6. Схемы блокинг-генераторов.

В любительских конструкциях многоголосных электромузыкальных инструментов в качестве делителя частоты можно с успехом использовать блокинг-генератор, схема которого проста и содержит мало деталей (рис. 6,*а*). Напомним принцип его работы.

Предположим, что соединенная с сеткой лампы обкладка конденсатора *C* заряжена отрицательно по отношению к катоду, в результате чего лампа заперта. Конденсатор разряжается через сопротивление *R*, и лампа остается запертой до тех пор, пока напряжение на ее сетке не достигнет потенциала отпирания лампы. В этот момент через анодную обмотку *I* трансформатора *Тр* начнет проходить ток, что вызовет появление положительного напряжения на сеточной обмотке *II*, которое уменьшит отрицательное напряжение на сетке лампы. Это в свою очередь вызовет еще более резкое увеличение анодного тока. Процесс происходит лавинообразно до тех пор, пока анодный ток не достигнет предельного значения (определяемого типом лампы), что произойдет уже при положительном

потенциале на сетке. В это время конденсатор $C$ заряжается за счет сеточного тока лампы. Вследствие прекращения роста анодного тока напряжение на сетке лампы резко уменьшится, что приведет к уменьшению ее анодного тока и появлению на обмотке $II$ индуцированного напряжения, приложенного «минусом» к управляющей сетке. Начнется лавинообразный процесс запирания лампы, и схема вернется в начальное состояние.

Отпирание и запирание лампы происходят очень быстро и занимают лишь малую часть общего цикла работы блокинг-генератора. Бóльшую же часть времени лампа заперта. Следовательно, лампа работает в очень экономичном режиме и потребляет малый ток. Например, лампа 6Н1П при анодном напряжении 250 *в* потребляет ток 0,2—1,5 *ма*.

С конденсатора $C$ можно снимать пилообразное напряжение. Частота генерируемых колебаний определяется произведением $RC$. Изменяя любую из этих величин, можно менять частоту генерации.

Сопротивление $R$ можно включить и по другой схеме, показанной на рис. 6,*б*. В этом случае заряд конденсатора $C$ будет происходить интенсивнее, что позволит получать более линейное пилообразное напряжение.

Синхронизирующие импульсы положительной полярности подаются в разрыв сеточной цепи (зажимы *1* и *2*) с отдельной обмотки трансформатора задающего генератора.

Синхронизация блокинг-генератора может быть осуществлена и по другой схеме (рис. 6,*в*). Синхронизирующее напряжение с анода лампы задающего генератора через конденсатор $C_1$ поступает в сеточную цепь лампы делителя частоты. Величина сопротивления $R_1$ определяет амплитуду синхронизирующего напряжения.

При наличии синхронизации отпирание лампы всегда будет происходить в момент поступления синхронизирующего импульса на управляющую сетку. В зависимости от выбора постоянной времени цепи разряда $\tau = RC$ отпирание лампы может происходить либо от каждого очередного, либо от каждого второго, третьего и т. д. импульсов.

Обмотка $III$ трансформатора блокинг-генератора служит для подачи синхронизирующих импульсов на следующий каскад деления частоты.

Сердечник трансформатора *Тр* может быть незамкнутым, что значительно упрощает конструкцию. Он собирается из тонких (0,35 *мм*) пластин $5 \times 15$ *мм* трансформаторной стали (толщина пакета 5 *мм*). Все обмотки наматываются на сердечник без каркаса внавал проводом ПЭЛ 0,15. Сначала наматывают обмотку $II$ (200 витков), затем обмотку $I$ (200 витков), а поверх них обмотку $III$ (35 витков). Выводы от обмоток делают проводом ПЭЛ 0,6 и закрепляют нитками. Для лучшего укрепления обмоток на сердечнике намотанный трансформатор следует пропитать битумом, парафином или лаком. Такие трансформаторы при достаточной жесткости выводов можно впаивать в схемы подобно конденсаторам или сопротивлениям. Размеры сердечника и числа витков обмоток могут быть несколько изменены. При указанных выше данных трансформатора можно получить частоту генерации блокинг-генератора в пределах всего звукового диапазона.

В качестве сердечника трансформатора блокинг-генератора можно с успехом использовать ферритовые кольца различных марок и

размеров. Обмотки такого трансформатора желательно выполнять проводом марки ПЭШО или ПЭШД диаметром 0,05—0,1 *мм* для колец с малым внутренним диаметром (менее 5 *мм*). При использовании ферритовых колец больших размеров диаметр провода можно выбрать больше, что значительно облегчит намотку. Число витков анодной обмотки не рекомендуется брать менее 75—80; сеточная обмотка должна содержать примерно в 3 раза меньшее число витков. В том случае, когда размеры сердечника позволяют, число витков желательно пропорционально увеличить.

Блокинг-генераторы, используемые как делители частоты, можно построить и на транзисторах (рис. 6,*г*). Трансформатор блокинг-генератора *Тр* намотан на ферритовом кольце марки Ф-100, имеющем наружный диаметр 9 *мм*, проводом ПЭШО 0,08. Обмотка *I* состоит из 75, а обмотка *II* — из 35 витков. Синхронизирующее напряжение поступает на базу транзистора делителя частоты через конденсатор $C_1$, а синхронизация последующего каскада осуществляется через конденсатор $C_2$.

На частоту колебаний блокинг-генератора влияют как величины сопротивления $R$ и конденсатора $C$, так и величина сопротивления $R_1$. Выбор малого значения сопротивления $R_1$ приводит к тому, что, во-первых, увеличивается потребляемый транзистором ток и, во-вторых, для получения частоты генерирования блокинг-генератора в области нижних частот звукового диапазона приходится применять конденсаторы $C$ очень большой емкости. При больших значениях сопротивления $R_1$ работа блокинг-генератора становится неустойчивой. Поэтому сопротивление $R_1$ целесообразно выбирать в пределах 80—250 *ком*. Сопротивление $R$ рекомендуется выбирать в пределах 10—30 *ком*. При меньшем значении сопротивления $R$ уменьшается амплитуда генерируемого напряжения, а также возникает необходимость иметь большие значения емкости $C$ для работы делителя частоты на нижнем участке звукового диапазона. При увеличении сопротивления $R$ больше указанного предела подключение нагрузки (входа общего предварительного усилителя) вызовет значительное изменение собственной частоты блокинг-генератора.

На рис. 7 изображены семейства кривых, показывающих зависимость между необходимой емкостью $C$ и частотой транзисторного блокинг-генератора при различных значениях сопротивлений $R$ и $R_1$. Эти кривые получены экспериментально для блокинг-генератора, показанного на рис. 6,*г*. Приведенные кривые могут быть использованы для выбора элементов всех блокинг-генераторов электромузыкального инструмента. При этом поступают так. Задаются величиной сопротивления $R_1$, которую желательно брать одинаковой для всех блокинг-генераторов. Зная требуемую частоту колебаний блокинг-генератора и используемую величину сопротивления $R_1$, выбирают стандартную емкость конденсатора $C$, лежащую между двумя кривыми, соответствующими крайним значениям сопротивления $R$ (на графике 11—22 *ком*). Например, пусть требуется определить емкость конденсатора $C$, если задана частота колебаний блокинг-генератора 300 *гц* при выбранном сопротивлении $R_1 = 220$ *ком*. Как видно из построения (рис. 7), этому условию будет удовлетворять емкость $C$ от 0,095 до 0,14 *мкф*. Выбираем стандартную емкость 0,1 *мкф*. Точная величина сопротивления $R$ подбирается при налаживании делителя частоты.

Следует учесть, что выбор емкости $C$ по кривым на рис. 7 является ориентировочным, так как на частоту колебаний транзисторного блокинг-генератора влияет ряд факторов: смена транзистора, температура его, изменение питающего напряжения и особенно параметры трансформатора (индуктивность его обмоток) При замене транзистора наблюдается изменение частоты блокинг-генератора примерно на ±10%. Такой же уход частоты блокинг-генератора происходит при изменении температуры транзистора на ±20° С относительно начальной температуры 20° С. Изменение питающего на-

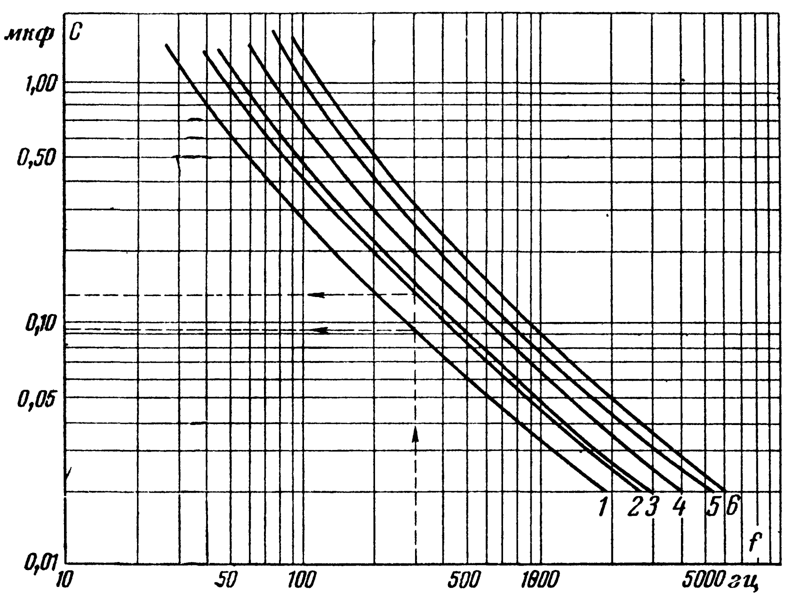



Рис. 7. Кривые для определения емкости зарядного конденсатора $C$ транзисторного блокинг-генератора.

*1* — для $R$=22 *ком* и $R_1$=220 *ком*; *2* — для $R$=11 *ком* и $R_1$=220 *ком*; *3* — для $R$=22 *ком* и $R_1$=110 *ком*; *4* — для $R$=11 *ком* и $R_1$=110 *ком*; *5* — для $R$=22 *ком* и $R_1$=55 *ком*; *6* — для $R$=11 *ком* и $R_1$=55 *ком*

пряжения сказывается на частоте колебаний блокинг-генератора сравнительно мало (при изменении питающего напряжения на ±20% изменение частоты не превышает 1%).

Если данные трансформатора, используемого в блокинг-генераторе, отличаются от тех, которые указаны для схемы на рис. 6,*г*, то рекомендуется снять самостоятельно две кривые (аналогичные показанным на рис. 7) при выбранной величине $R_1$ для значений $R$=11 и 22 *ком*.

Другим типом делителя частоты первой группы является релаксационный генератор пилообразного напряжения на неоновой лампе (рис. 8). Этот генератор работает следующим образом.

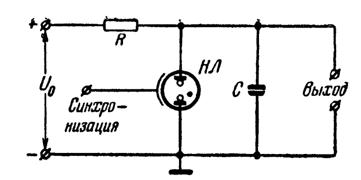



Рис 8 Схема делителя частоты на неоновой лампе

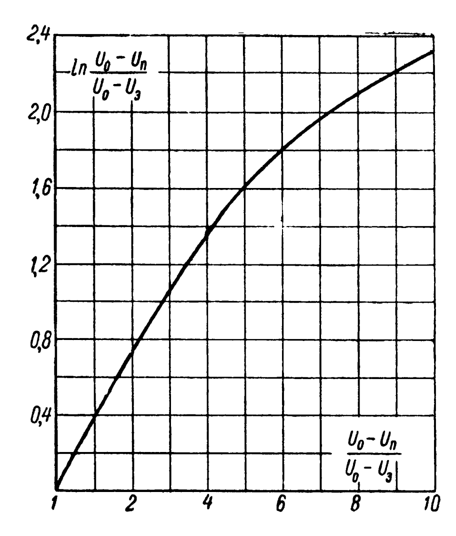



Рис. 9. Расчетная кривая для определения частоты релаксационного генератора.

При включении питающего напряжения $U_0$ происходит заряд конденсатора $C$ через сопротивление $R$. Напряжение на конденсаторе и, следовательно, на неоновой лампе $НЛ$ постепенно возрастает. Пока оно остается ниже потенциала зажигания $U_з$, неоновая лампа тока не проводит. При достижении напряжения зажигания лампа вспыхивает, сопротивление ее резко падает и конденсатор $C$ очень быстро разряжается через нее до напряжения, равного напряжению потухания лампы $U_п$. При этом лампа гаснет, конденсатор $C$ вновь начинает заряжаться и процесс повторяется.

Частота колебаний генератора зависит от величины питающего напряжения, напряжений зажигания и потухания и произведения $RC$. Однако генерация возникает не при любых значениях $R$ и $C$. Если сопротивление $R$ мало, а емкость $C$ велика, то напряжение на конденсаторе $C$ не будет падать до величины $U_п$ и колебаний не возникнет. При очень большом значении сопротивления $R$ и малой емкости $C$ мощность генератора становится небольшой и подключение даже незначительной нагрузки вызывает срыв колебаний.

Частоту колебаний генератора можно определить по формуле

$$f \approx \frac{1}{RC \ln \frac{U_0 - U_п}{U_0 - U_з}},$$

где $U_0$ — напряжение источника питания, *в*;
$U_з$ — напряжение зажигания лампы, *в*;
$U_п$ — напряжение потухания, *в*;
$R$ — сопротивление, *ом*;
$C$ — емкость, *ф*;
$f$ — частота, *гц*.

При расчете удобно пользоваться графиком (рис. 9), который по отношению $\frac{U_0 - U_п}{U_0 - U_з}$ позволяет найти значение натурального логарифма этого отношения.

Для получения большей амплитуды выходного напряжения следует применять неоновые лампы с наибольшей разностью между напряжениями зажигания и потухания.

Частота колебаний релаксационного генератора на неоновой лампе сильно зависит также и от многих внешних факторов: окружающей температуры, влажности, освещенности неоновой лампы посторонним источником света и т. п. Поэтому при использовании таких генераторов в электромузыкальных инструментах их необходимо синхронизировать. Синхронизация осуществляется с помощью третьего, внешнего, электрода, который выполняется в виде приклеенного к баллону лампы станиолевого пояска или нескольких витков провода, обмотанных вокруг стеклянного баллона лампы. На этот электрод подается синхронизирующее напряжение. Число витков третьего электрода практически не влияет на качество синхронизации. Такой способ синхронизации возможен только для ламп, в которых внутренние электроды не закрывают друг друга (например, для лампы типа МН-6).

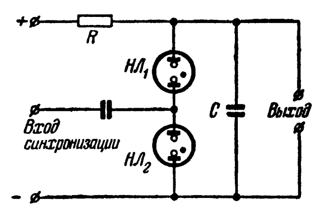



Рис. 10. Схема делителя частоты с двумя неоновыми лампами.

При использовании в делителях частоты неоновых ламп с закрытыми электродами (например, типа МН-3 или МН-5) приходится применять другие способы синхронизации. На рис. 10 показана схема релаксационного генератора с двумя такими неоновыми лампами. Такой делитель частоты хорошо синхронизируется и работает стабильнее, нежели делитель частоты с одной неоновой лампой, но он требует дополнительной лампы и более высокого напряжения питания.

Неоновые лампы при использовании их в схемах делителей частоты должны обязательно пройти процесс формовки, заключающийся в том, что лампу через сопротивление 1 200 *ом* включают в сеть переменного тока напряжением 220 *в* (или через сопротивление 500 *ом* в сеть напряжением 127 *в*) на 2—3 *сек*. Этим достигается искусственное старение неоновой лампы, и в дальнейшем при эксплуатации параметры ее меняются незначительно.

Частота колебаний генератора на неоновой лампе зависит и от изменений напряжения питания, которое поэтому необходимо стабилизировать. Для этой цели может быть использована схема со стабилитронами (например, типов СГ3С, СГ4С, СГ1П, СГ2П).

Заканчивая обзор делителей частоты первой группы, следует указать, что деление частоты возможно только в том случае, если частота колебаний делителя (будь то блокинг-генератор или релаксационный генератор на неоновой лампе) ниже частоты синхронизирующего напряжения. Это значит, что при необходимости деления частоты на 2 период собственных колебаний делителя частоты должен быть немного больше удвоенного периода колебаний синхрони-

зирующего источника, при делении на 3 — немного больше утроенного периода колебаний синхронизирующего источника и т. д.

Другими словами, действие синхронизации можно рассматривать как «подтягивание» частоты делителя к $^1/_2$, $^1/_3$ и т. д. частоты синхронизирующего источника. При небольшом увеличении или уменьшении частоты синхронизации частота синхронизируемого делителя будет также меняться в некоторых пределах, а при более значительных изменениях частоты синхронизации делитель переходит на другой коэффициент деления. Возможно деление и в дробное число раз. В этом случае в электромузыкальном инструменте будет прослушиваться дребезжащий звук.

Следовательно, устойчивое деление может происходить в некотором определенном интервале частот, который определяется типом делителя частоты и способом синхронизации.

Наибольшей стабильностью делитель частоты обладает при определенном соотношении между частотой синхронизирующего напряжения и собственной частотой делителя и, кроме того, между амплитудами синхронизирующего напряжения и переменного напряжения на сетке лампы или базе транзистора блокинг-генератора (или на электродах неоновой лампы). Эти отношения при коэффициенте деления 2 равны соответственно 2,6 и 0,48, а при коэффициенте деления 3 — 3,6 и 0,31.

Наивыгоднейший режим работы делителей частоты подбирают следующим образом. Сначала устанавливают собственную частоту колебаний делителя без синхронизации (при вынутой лампе задающего генератора или предыдущего делителя частоты) в 2,6 раза ниже частоты синхронизирующего напряжения (при делении на 2). При наличии звукового генератора и осциллоскопа настройка осуществляется по фигурам Лиссажу. Если же нет этих приборов, то настройку можно производить на слух, используя какой-либо другой правильно настроенный музыкальный инструмент. Каждый делитель частоты настраивается на частоту, лежащую ниже требуемой на интервал от большой терции до чистой кварты. Например, делитель частоты, соответствующий тону «до», настраивается на тон, находящийся между «соль» и «ля бемоль», делитель тона «ре» — на тон между «ля» и «си бемоль» и т. д

После того как делители частоты настроены, необходимо включить синхронизирующее напряжение и подобрать его амплитуду. Так как деление с заданной кратностью возможно при изменении синхронизирующего напряжения в некоторых пределах, необходимо найти верхнюю и нижнюю границы этого интервала. Наивыгоднейшая величина синхронизирующего напряжения примерно равна средней арифметической его граничных значений.

При делении на 3 собственная частота делителя выбирается ниже требуемой на интервал, несколько больший полутона, а наивыгоднейшая величина синхронизирующего напряжения подбирается таким же образом, как и при делении на 2. Однако такие делители работают хуже октавных.

Характерным представителем делителей частоты второй группы является триггер, схема которого дана на рис. 11,*а*. При отсутствии синхронизирующего напряжения на входе триггера один из триодов заперт, а другой — отперт. При этом напряжение на аноде отпертого триода оказывается небольшим, а на аноде запертого приближается к напряжению питания Такое состояние триггера

является устойчивым и может сохраняться неопределенно долго. При подаче на вход триггера одного синхронизирующего импульса произойдет опрокидывание триггера: запертый триод отопрется, а отпертый будет заперт. Это новое состояние триггера будет также устойчивым и может сохраняться до прихода следующего синхронизирующего импульса, после чего триггер вернется в исходное положение. Таким образом, один полный цикл триггер совершает при подаче на его вход двух синхронизирующих импульсов.

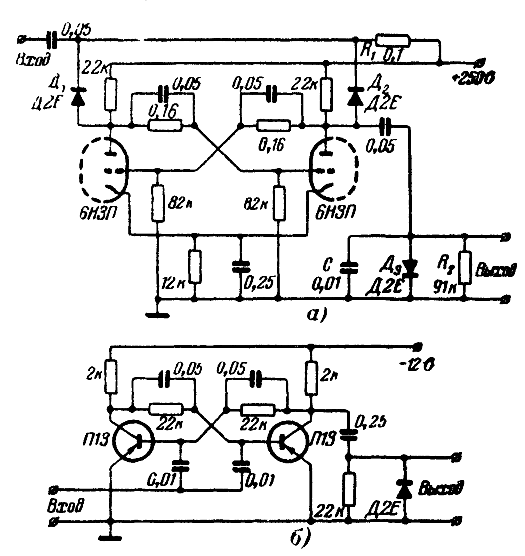



Рис. 11. Схемы делителей частоты на триггерах.

С анода любого триода можно снимать переменное напряжение прямоугольной формы с частотой в 2 раза меньше частоты синхронизирующих импульсов (триггер является делителем частоты). Переменное напряжение прямоугольной формы не содержит четных гармоник и является удобным для формирования тембров кларнета и басcкларнета.

Для получения других тембров надо преобразовать прямоугольное напряжение в пилообразное. Это достигается с помощью диода $Д_3$, сопротивления $R_2$ и конденсатора $C$.

Синхронизирующее напряжение от предыдущего делителя частоты подается на электроды триодов триггера через диоды $Д_1$ и $Д_2$, на которые через сопротивление $R_1$ поступает запирающее напряжение. Диод, подключенный к аноду отпертого триода, заперт большим напряжением и синхронизирующих импульсов не пропускает. К диоду, подключенному к аноду запертого триода, приложено небольшое запирающее напряжение. Если амплитуда синхронизирующего напряжения превышает его, то создаются условия

для переброса триггера. Поступление синхронизирующего напряжения только на один триод значительно облегчает опрокидывание триггера.

На рис. 11,*б* приведена схема триггера на транзисторах. Принцип действия его ничем не отличается от лампового (рис. 11,*а*), за исключением способа подачи синхронизирующего напряжения. Транзисторный триггер выгодно отличается от триггера на электронных лампах меньшим количеством деталей.

В заключение необходимо отметить, что делители частоты являются одним из наиболее трудных узлов многоголосного электромузыкального инструмента, так как этот узел содержит большое количество радиодеталей и требует много труда для изготовления и налаживания его. Поэтому, приступая к сборке делителей частоты, необходимо иметь ясное представление об их работе и методике их налаживания.

Для радиолюбителей весьма заманчивыми являются делители частоты на неоновых лампах благодаря их малой стоимости, размерам, незначительному потреблению тока и, наконец, отсутствию цепей накала. Однако работа делителей частоты на неоновых лампах менее стабильна, нежели на электронных лампах и транзисторах.

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕМБРАМИ

Третьим основным узлом многоголосного электромузыкального инструмента является темброблок. Как было сказано выше, содержание тех или иных обертонов в звуке придает характерные особенности звучанию музыкального инструмента. Однако содержание обертонов в звуке еще неполностью характеризует «окраску» его. Оказывается, что наиболее приятным для человеческого слуха является звук, не установившийся по амплитуде и частоте. Это можно подтвердить многочисленными примерами. Так, красивый звук гавайской гитары заметно меняется по амплитуде и частоте. При игре на смычковых инструментах периодическое изменение высоты тона (вибрато) существенно оживляет звук и делает его более приятным. Самым красивым считается звучание человеческого голоса. Это неудивительно, так как в этом случае происходят изменения высоты тона, громкости и содержания обертонов одновременно.

Интересно отметить, что звук установившегося синусоидального колебания (например, свист радиоприемника) очень неприятен для слуха, так как в нем отсутствуют все перечисленные выше особенности, создающие приятную окраску звука. Следовательно, при конструировании электромузыкального инструмента необходимо соблюдать все условия, позволяющие получить красивое звучание.

Существует два способа создания тембра: гармонический и формантный. На практике очень часто применяют оба метода одновременно, так как это дает наилучшие результаты. При образовании тембров гармоническим способом в звуке происходит изменение количественного соотношения обертонов, одинакового для всего звукового диапазона; например, происходит усиление или ослабление второй и третьей гармоник всех звуков.

Наиболее простым является формантный способ. Формантой обычного музыкального инструмента называется частота его акустического резонанса. Если бы инструмент издавал чисто синусоидаль-

ные колебания, то наличие акустического резонанса корпуса инструмента не оказывало бы влияния на тембр звука. При изменении высоты тона изменялась бы только громкость звука соответственно характеру кривой резонанса.

В действительности звук музыкального инструмента является сложным колебанием. Поэтому для такого звука возможно совпадение частоты какого-либо обертона с частотой акустического резонанса инструмента. В результате этот обертон значительно усиливается. Частота усиленного обертона для звуков разной высоты одна и та же (она равна резонансной частоте инструмента). Но чем ниже от резонансной частоты находится звук, тем более высокий обертон его будет усилен.

Вследствие того, что резонансная кривая инструмента позволяет пропустить более или менее широкую полосу частот, оказывается возможным получить усиление нескольких обертонов. Такое явление характерно для всех обычных музыкальных инструментов. Некоторые инструменты могут иметь несколько формант.

В электромузыкальном инструменте также имеются свои форманты. Это резонансы акустического агрегата и подвижных систем громкоговорителей. Они существуют, помимо нашей воли, во всех случаях, и управлять ими довольно сложно.

Гораздо удобнее управлять тембрами с помощью отдельных электрических формантных цепей, которые можно подбирать по желанию. Для получения разных тембров необходимо иметь форманты в различных участках звукового диапазона. Имитация звучания какого-либо музыкального инструмента получается, если подобрать резонансную кривую формантной цепи одинаковую с резонансной кривой этого инструмента. Кроме того, необходимо соблюдать характерный состав обертонов в звуке данного иструмента.

Формантным способом наиболее просто удается имитировать звучание деревянных духовых инструментов. Однако не следует увлекаться только имитацией звучания обычных музыкальных инструментов, так как электромузыкальный инструмент дает возможность получать совершенно новые тембры. Поэтому конструктору электромузыкального инструмента следует обратить особое внимание на темброблок и использовать все возможности, которыми он располагает, для поисков новых разнообразных звучаний.

Наиболее простым и эффективным средством управления тембрами являются цепи *LC* и *RC*. На рис. 12 изображены некоторые из них.

Цепь с резонансным контуром (рис. 12,*а*) дает возможность получить какую-либо форманту. Для получения более красивого звучания добротность контура не следует брать слишком большой. Сопротивление *R* может быть установлено для уменьшения шунтирующего действия лампы предварительного усилителя. При малом сопротивлении *R* острота резонансной кривой может оказаться недостаточной. Для сердечника катушки контура нежелательно применять пермаллой. С целью устранения наводок катушку сердечника необходимо экранировать.

Цепь, изображенная на рис. 12,*б*, подавляет высокие частоты и делает звучание электромузыкального инструмента более мягким. Следующая цепь (рис. 12,*в*) ослабляет низкие частоты, в результате чего звучание инструмента делается более резким. Все эти цепи могут быть использованы самостоятельно и в различных комбинациях

(рис. 12,г) Применение даже таких простых цепей дает хорошие результаты.

Для более эффективного действия формантной цепи рекомендуется перед формантным контуром включать сопротивление. Для получения сложных тембров можно соединить несколько формантных контуров последовательно. Здесь открывается широкое поле деятельности для радиолюбителя-конструктора по получению различных тембров при помощи комбинаций указанных или каких-либо других, более сложных цепей.

Все рассмотренные элементы темброблока должны быть линейными цепями. Это является обязательным условием при применении их в темброблоке многоголосного электромузыкального инструмента.

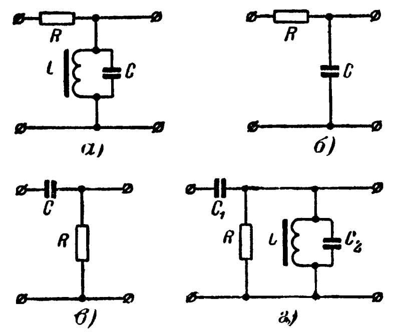



Рис 12. Цепи управления тембрами.

В многоголосных электромузыкальных инструментах нельзя изменять тембр искажением формы кривой напряжения при помощи нелинейных цепей, так как в этом случае при одновременном звучании нескольких тонов будут возникать неприятные для слуха искажения.

Гармонический способ создания тембров значительно сложнее, нежели формантный Как было сказано, при гармоническом синтезе тембров к колебаниям основной частоты добавляются определенные гармоники для всех звуков. Идея гармонического синтеза тембров заключается в следующем.

Предположим, что к каждому делителю частоты электромузыкального инструмента добавлены устройства (например, умножители частоты), вырабатывающие переменные напряжения с частотами в 2, 3, 4 и т. д. раза выше частоты выходного напряжения соответствующего делителя частоты. При помощи переключающей системы можно смешивать выходные напряжения делителя частоты (основной частоты, определяющей высоту звука) и любой комбинации умножителей частоты (частот обертонов звука). Таким образом, добавляя к основной частоте звука те или иные обертоны, можно менять окраску звука. Очевидно, такая переключающая система должна быть у всех делителей частоты электромузыкального инструмента для одновременного изменения тембра всех его звуков.

Однако применение специальных устройств для получения ряда обертонов к каждому звуку электромузыкального инструмента требует огромного количества ламп, транзисторов и радиодеталей, что в любительских условиях совершенно неприемлемо. Поэтому очень часто обходятся без специальных устройств для получения обертонов, а используют имеющиеся основные частоты электромузыкального инструмента. Так, например, для звука «ля» малой октавы, имеющей основную частоту колебаний 220 *гц*, второй гармоникой

является «ля» первой октавы с основной частотой колебаний 440 *гц*, третьей гармоникой — «ми» второй октавы с частотой колебаний 659 *гц*, четвертой — «ля» второй октавы с частотой колебаний 880 *гц*, пятой — «до-диез» третьей октавы с частотой колебаний 1 109 *гц* и т. д. Из приведенного видно, что, используемые в качестве третьей и пятой гармоник соответственно звуки «ми» и «до-диез» имеют частоты колебаний, отличающиеся от теоретически необходимых (659 *гц* вместо 660 *гц* и 1 109 *гц* вместо 1 100 *гц*). Такое несовпадение частот прослушивается как звучание немного расстроенного инструмента. Однако это обстоятельство не является препятствием к использованию основных частот электромузыкального инструмента для получения сложных тембров (до четвертой гармоники включительно). Этот способ применен в Ионике.

На рис. 13 показана схема соединений контактной системы клавиатуры, которая дает возможность осуществлять гармонический синтез тембров. Каждая клавиша имеет пять пар контактов ($k_1$—$k_5$), которые при нажатии ее замыкаются одновременно (на схеме показаны контакты одной клавиши). К подвижным контактам подводятся переменные напряжения от делителей частоты, а неподвижные контакты соединены с пятью сборными шинами. Каждая шина подключена ко входу отдельного предварительного усилителя низкой частоты. Выходы этих усилителей могут в любой комбинации подключаться к формантным цепям, а выходы последних — ко входу общего усилителя низкой частоты.

Клавиатура содержит 41 клавишу, т. е неполные три с половиной октавы Схема, показанная на рис 13, расширяет диапазон инструмента до шести октав. Из них пять октав имеют многоголосное, а одна — самая низшая — одноголосное звучание. Несмотря на то, что клавиатура инструмента содержит 41 клавишу, для реализации всех перечисленных выше преимуществ требуется 61 делитель частоты (60 для пяти многоголосных октав и один пассивного типа, например триггер, для одной низшей октавы).

Одноголосное звучание самой низшей октавы инструмента не является недостатком, так как при аккомпанементе на очень низких звуках нет необходимости играть аккордами. Однако одноголосное звучание низшей октавы инструмента имеет место только в том случае, когда на вход темброблока подключена только шина *I*. Подключение дополнительно к этой шине одной или нескольких шин обеспечит многоголосное звучание инструмента во всем его диапазоне.

Использование одного пассивного делителя частоты для самой низшей октавы инструмента в целях сокращения общего числа делителей частоты требует дополнительных контактов к клавишам низшей октавы. Эти контакты необходимы для подачи переменного напряжения с выхода только одного делителя частоты предыдущей октавы на вход пассивного делителя частоты самой низкой октавы. При одновременном нажатии нескольких клавишей низшей октавы пассивный делитель частоты будет синхронизироваться напряжением с частотой, соответствующей самой низшей из нажатых клавишей. Схема коммутации пассивного делителя частоты показана на рис. 14

На рис. 15 показана схема одного из возможных вариантов темброблока с коммутацией выходов предварительных усилителей низ-

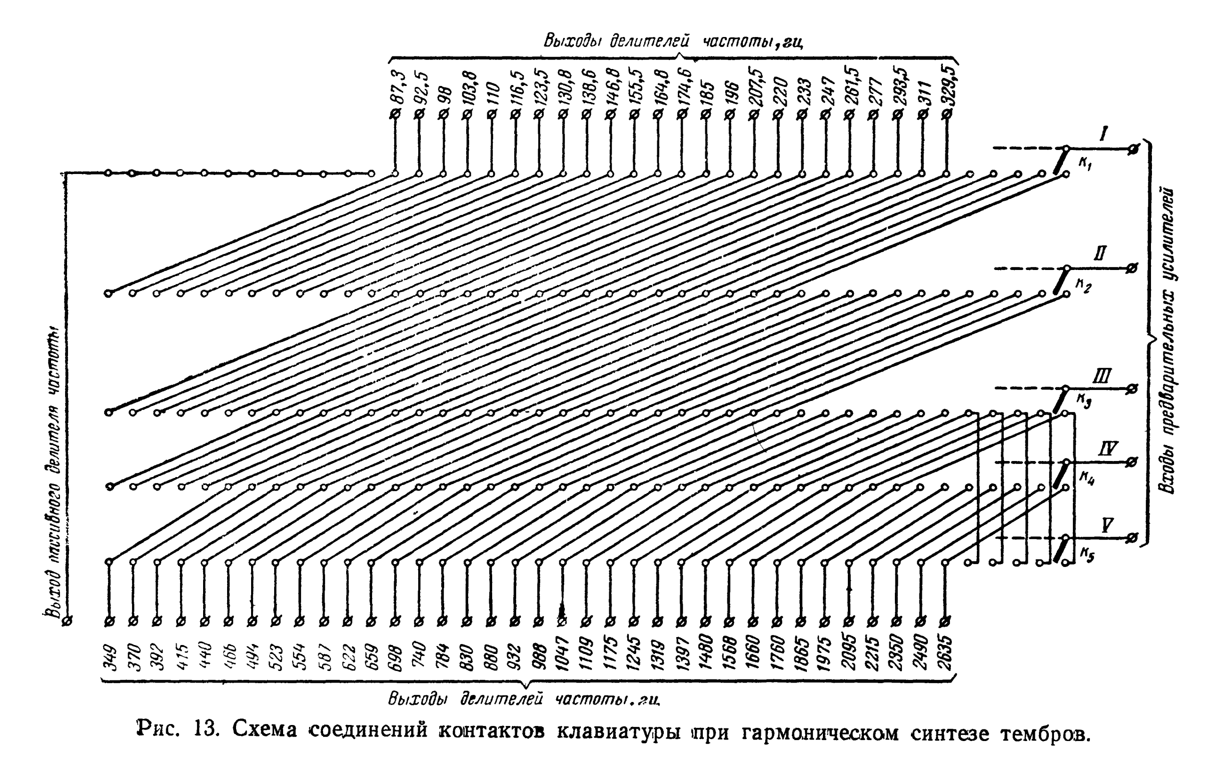



Рис. 13. Схема соединений контактов клавиатуры при гармоническом синтезе тембров.

кой частоты. Тот или иной тембр получается при различных комбинациях включения выключателей $Вк_1$—$Вк_{10}$.

Количество выключателей и формантных цепей по желанию конструктора может быть изменено. Даже при такой сравнительно простой схеме, которая изображена на рис. 15, можно получить очень большое разнообразие тембров.

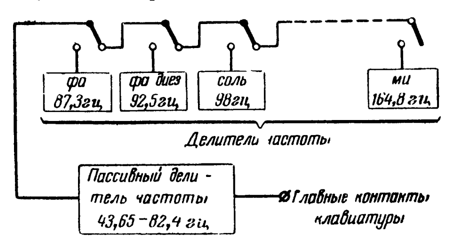



Рис. 14. Схема коммутации пассивного делителя частоты

Гармонический синтез тембров согласно рис. 13 дает очень хорошие результаты в получении разнообразных и богатых тембров. Однако наиболее полная имитация звучания духового органа может быть получена только при использовании мощных усилителей низкой

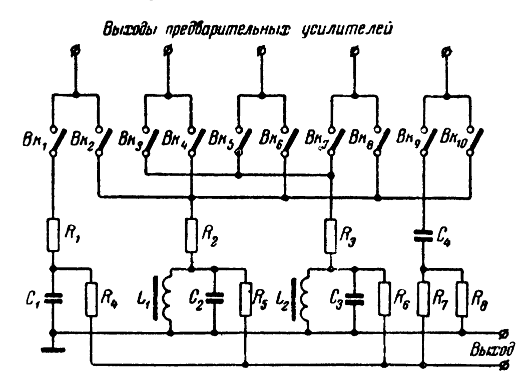



Рис. 15. Схема управления тембрами при использовании гармонического и формантного методов.

частоты и высококачественных акустических агрегатов и наличии отдельного манипулятора для каждого звука инструмента.

Однако схема коммутации довольно сложна, так как требуется пять пар контактов на каждую клавишу, а к клавишам самой низшей октавы добавляется еще по группе переключающих контактов (см. рис. 14). Если конструктор электромузыкального инструмента не в состоянии изготовить сложную контактную систему, то следует не-

сколько упростить ее. Можно, например, обойтись тремя парами контактов под каждой клавишей. В этом случае остаются сборные шины *II*, *III* и *V* (см. рис. 13), отпадают пассивный делитель частоты и коммутирующая система на рис. 14, а схема на рис. 15 упрощается. При этом диапазон инструмента сокращается до пяти октав. Дальнейшее упрощение схемы, приведенной на рис. 13, нецелесообразно, так как это очень сильно ограничивает возможности гармонического синтеза тембров.

Характер возникновения и затухания звука у различных музыкальных инструментов неодинаков. Для лучшей имитации звучания различных музыкальных инструментов и устранения неприятных щелчков, возникающих при замыкании клавишных контактов, в одно-

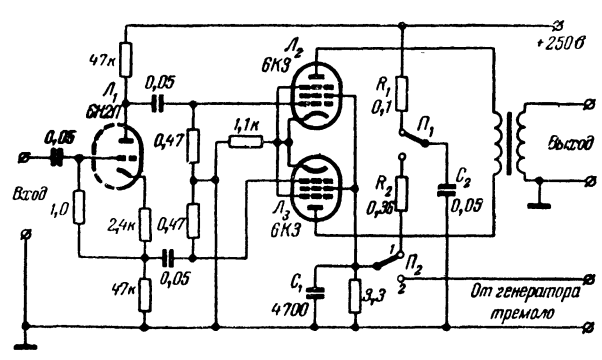



Рис. 16. Схема каскада управления затуханием звука.

голосных электромузыкальных инструментах применяют специальные каскады мягкой атаки или каскады двухтактного усиления. Однако они не устраняют полностью щелчки при игре легато, т. е. при плавном переходе с одной нажатой клавиши на другую.

В многоголосных электромузыкальных инструментах при наличии манипулятора для каждой клавиши щелчков не возникает. Схема общего манипулятора, позволяющего получать звуки с любой длительностью нарастания и затухания, показана на рис. 16. Устройство представляет собой двухтактный усилитель низкой частоты на лампах $Л_2$ и $Л_3$ и фазоинвертор на лампе $Л_1$. Управление усилением каскада осуществляется по экранирующим сеткам ламп $Л_2$ и $Л_3$.

Положение *1* переключателя $П_1$ показано на рис. 16 для случая, когда ни одна клавиша не нажата. При этом положительный потенциал на экранирующих сетках ламп $Л_2$ и $Л_3$ отсутствует и усиление практически равно нулю. Конденсатор $C_2$ заряжен до напряжения питания (250 *в*). При нажатии любого числа клавишей инструмента переключатель $П_1$ переходит в положение *2*. В этом случае конденсатор $C_2$ будет разряжаться через сопротивление $R_2$ и сопротивления цепей экранирующих сеток ламп $Л_2$ и $Л_3$. Появление положительного потенциала на экранирующих сетках ламп создает условия для усиления переменного напряжения, поступившего на вход устройства. Время нарастания звука (усиленного напряжения) мож-

но менять подбором величин сопротивления $R_2$ и емкости $C_1$. Емкость конденсатора $C_2$ определяет время затухания звука. Сопротивление $R_1$ необходимо для ограничения зарядного тока конденсатора $C_2$. При использовании такого двухтактного усилителя при жесткой атаке звука щелчки не прослушиваются. Наилучшее подавление щелчков получается при полной симметрии плеч двухтактного усилителя.

Устройство, схема которого показана на рис. 16, можно успешно использовать для получения тремоло (имитация звучания щипковых инструментов). Для этого предусмотрен переключатель $П_2$. При переводе его в положение *2* на экранирующие сетки ламп $Л_2$ и $Л_3$ подается пилообразное напряжение частотой 10—15 *гц* от специального генератора тремоло, представляющего собой несимметричный

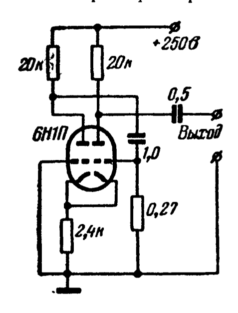



Рис. 17. Схема генератора тремоло.

Рис. 18. Схема электронного реле.

мультивибратор (рис. 17). Вследствие этого отпирание ламп $Л_2$ и $Л_3$ (рис. 17) происходит значительно быстрее, чем запирание их. Недостатком этого устройства следует считать то обстоятельство, что при нажатой клавише после затухания звука нажатие других клавишей не вызывает появления его. Поэтому необходимо сначала отпустить все клавиши, а затем снова нажать их. При затухании звука, когда одна или несколько клавишей уже нажаты, нажатие других клавишей вызывает появление звуков с громкостью, равной громкости звучания тонов уже нажатых клавишей. Этот недостаток, ограничивая игру на инструменте, не исключает возможности применения описанной схемы.

В одноголосных электромузыкальных инструментах для управления возникновением и затуханием звука применяют дополнительные контакты под каждой клавишей. Эти дополнительные контакты всех клавишей соединены параллельно, и нажатие любой клавиши включает каскад мягкой атаки. Однако применять такую систему контактов нет надобности. Целесообразнее применить электронное реле, заменяющее все дополнительные контакты.

Электронное реле (рис. 18) работает следующим образом. При нажатии клавиши пилообразное напряжение от одного из делителей частоты поступает на сетку лампы. Переменная составляющая анодного тока выпрямляется и подается на обмотку реле *Р*, заставляя его срабатывать. Рекомендуется применять поляризованное реле (вследствие его высокой чувствительности, быстроты срабатывания и бес-

шумной работы). Его необходимо отрегулировать только на одно устойчивое положение подвижной системы. Возможно применение и других типов реле с достаточно высокой чувствительностью. Ток срабатывания реле не должен превышать 3—4 *ма*.

Для получения вибрирующего звука (вибрато) в электромузыкальных инструментах применяют несколько способов: частотный, унисонный и фазовый. Наилучшим из них является унисонное вибрато. Оно получается при одновременном звучании двух тонов, частоты которых различаются на несколько герц. В любительских условиях унисонное и фазовое вибрато осуществить трудно.

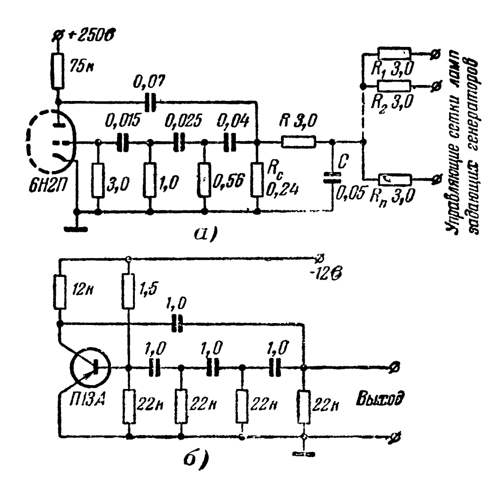



Рис. 19. Схема генераторов вибрато.
*а* — на электронной лампе, *б* — на транзисторе

Частотное вибрато осуществляется периодическим изменением высоты тона. По своим акустическим качествам оно мало уступает унисонному, превосходя последнее в простоте устройства и легкости регулировки. Поэтому в любительских конструкциях применяется только частотное вибрато.

На рис. 19 приведены схемы генераторов для создания частотного вибрато. Генератор вибрато представляет собой *RC*-генератор с фазовращающими ячейками. Для устойчивой работы генератора необходимо применить не менее четырех фазовращающих ячеек. Частота генератора выбирается в пределах 5—7 *гц*. При такой частоте генератора вибрато получается наиболее выразительным.

Действие частотного вибрато можно объяснить следующим образом. Переменное напряжение от генератора вибрато, поступая на управляющие сетки ламп задающих генераторов, периодически перемещает рабочие точки ламп по характеристике. Это вызывает изменение параметров ламп и «качание» частоты задающих генераторов (а, следовательно, и всех делителей частоты) в небольших пределах.

Конденсатор $C$ выполняет две функции: во-первых, он совместно с сопротивлением $R$ образует делитель переменного напряжения генератора вибрато (снимаемое напряжение подбирается изменением величины сопротивления $R$), а, во-вторых, он же совместно с высокоомными сопротивлениями $R_1 \ldots R_n$ образует фильтр развязки, устраняющий взаимное влияние задающих генераторов. Для генератора вибрато может быть использован любой триод, пентод или транзистор.

Форма кривой напряжения генератора вибрато близка к синусоидальной. Это является одним из условий получения хорошего вибрато. Применение $LC$-генератора вместо $RC$-генератора при такой низкой частоте нецелесообразно, так как для контура $LC$-генератора потребуются большие индуктивность и емкость.

В литературе иногда приводятся схемы генераторов вибрато на неоновых лампах, которые рекомендуются как наиболее простые. В действительности это совсем не так, ибо генератор на неоновой лампе дает пилообразное напряжение, непригодное для вибрато. Преобразовать пилообразное напряжение в синусоидальное довольно трудно; для этого требуются чрезвычайно громоздкие фильтры с дросселями большой индуктивности (более 100 *гн*). При использовании же $RC$-фильтров на выходе получается недостаточное напряжение.

По желанию конструктора можно предусмотреть возможность изменять в некоторых пределах частоту и амплитуду вибрато, сделав сопротивления $R_c$ и $R$ переменными. Однако практически в этом нет особой необходимости. Поэтому амплитуда и частота вибрато могут быть установлены при первоначальном налаживании.

В заключение необходимо сказать, что начинающему конструктору электромузыкальных инструментов не следует увлекаться созданием большого количества тембров. Большое число тембров в зарубежных конструкциях электроорганов делается в основном с рекламной целью. На практике же используются только некоторые из них, так как большинство этих тембров различается незначительно. Поэтому лучше создать несколько тембров, значительно отличающихся друг от друга. Практика показывает, что умелое использование даже весьма ограниченного количества тембров в сочетании с изменением характера возникновения и затухания звука открывает перед исполнителем широкие возможности.

## КОНСТРУКЦИЯ КЛАВИАТУРЫ

Четвертым основным узлом электромузыкального инструмента является клавиатура с контактной системой. От тщательности изготовления клавиатуры во многом зависят качество и удобство исполнения. Изготовление клавиатуры в любительских условиях представляет наибольшие трудности, так как это очень трудоемкая работа, требующая специальных навыков и большого терпения.

Клавиатура должна отвечать следующим требованиям:

1. Клавиши должны иметь стандартные размеры, как, например, у рояля. При других размерах клавишей игра на электромузыкальном инструменте будет чрезвычайно затруднена для музыканта, играющего на рояле.

2. Усилие, необходимое для нажатия клавиши, не должно быть слишком большим или слишком малым. Нормальным надо считать такое усилие, которое необходимо применять для игры на аккордеоне.

3. Клавиши не должны вибрировать, т. е. при быстром отпускании нажатой клавиши она не должна совершать вертикальных колебаний. Иначе могут происходить ложные замыкания контактов.

4. Контакты должны быть отрегулированы так, чтобы для всех клавишей замыкание контактов происходило при одинаковом нажатии.

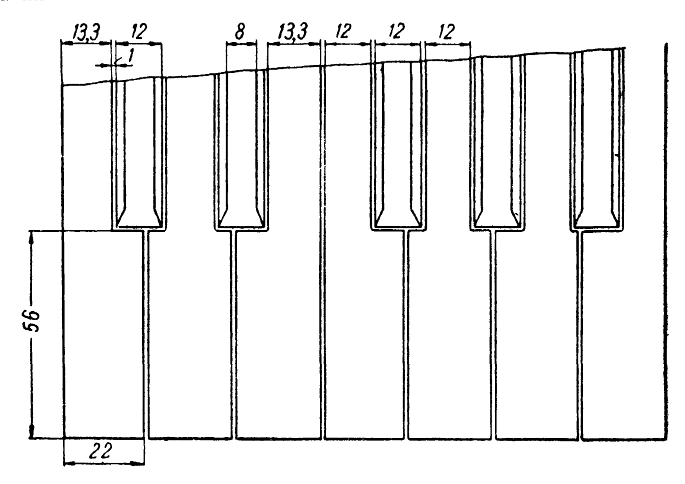



Рис. 20. Конструкция клавишей.

5. Работа клавиатуры должна происходить бесшумно.

6. Клавиатура и контактная система должны иметь достаточно большой срок службы.

Работа по изготовлению клавиатуры значительно упрощается, если имеется готовая клавиатура от рояля, пианино, фисгармонии или — в крайнем случае — от аккордеона. Но в большинстве случаев у радиолюбителя нет готовой клавиатуры, и тогда ее приходится изготавливать самому.

Перед тем как приступить к изготовлению клавишей, необходимо иметь контактную систему. Лучше всего применить готовые контакты от телефонных реле. В крайнем случае, если достать готовые контакты невозможно, их надо сделать самому. В зависимости от типа имеющихся контактов изготавливается тот или иной вариант клавиатуры.

Количество клавишей в электромузыкальных инструментах может быть различным. Однако не следует строить многоголосный электромузыкальный инструмент с диапазоном менее трех-трех с половиной октав, что соответствует 36—42 клавишам. В одной октаве клавиатуры правильной конструкции имеется восемь различных по форме клавишей (рис. 20).

На рис. 21 показан один из вариантов конструкции клавиатуры Клавиши можно изготовить из сухой древесины (желательно применять более твердые породы деревьев например березу, клен). В клавише делают два поперечных отверстия; одно из них сквозное, а другое сверлится на $^2/_3$ толщины клавиши. Через сквозное отверстие проходит металлический штифт *1* (гвоздь без шляпки, забитый достаточно прочно в рейку). Чтобы клавиша могла свободно перемещаться в вертикальной плоскости, сквозное отверстие имеет переменное сечение, как это показано на рисунке. В другое отверстие входит штифт *2*, который не дает возможности клавише смещаться в стороны. Рейки *3* служат для ограничения хода клавиши. Чтобы уменьшить шум, необходимо на эти рейки наклеить мягкий материал, например, фланель. Пружина возврата клавиши *5* одним своим кон-

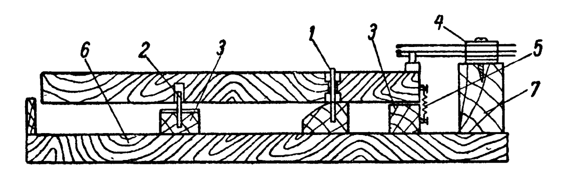



Рис. 21. Конструкция клавиатуры.

цом надевается на небольшой гвоздь, вбитый в торец клавиши, а другим концом таким же образом крепится к опорной рейке *3*. Основание *6*, являющееся одновременно дном ящика, делают из многослойной фанеры толщиной 10 *мм*. Контактная система *4* крепится на рейке *7* шурупом.

Изолирующие прокладки между контактными пластинами изготавливают из плотного картона (0,5—0,8 *мм*) или тонкого гетинакса. Верхнюю прижимную рейку лучше всего изготовить из гетинакса (1,5—2,5 *мм*) или же трехслойной фанеры. Экран делают из тонкой жести или алюминия.

Для самостоятельного изготовления контактов необходимо нарезать пластинки шириной 2,5—4 и длиной 55—90 *мм* из листовой бронзы, латуни или мягкой стали толщиной 0,2—0,5 *мм*, обладающие достаточной упругостью. Длину контакта выбирают в зависимости от толщины материала (для более тонкого материала берется минимальная, а для более толстого — максимальная длина). На заготовленных пластинках нужно сделать контактные поверхности. Это можно выполнить двумя способами: либо при помощи керна выбить бугорки, либо при помощи плоскогубцев сделать загибы в виде треугольника. Для того чтобы контактные поверхности не окислялись, их надо облудить путем погружения обоих концов пластинки в расплавленное олово.

Сборку контактной системы начинают с одного из концов клавиатуры. Все изолирующие прокладки и прижимную рейку привинчивают шурупом. Против первой и второй клавишей между прокладками вставляют по три контактные пластинки и между ними крепко ввинчивают шуруп. Затем между изолирующими прокладками вставляют контактные пластинки следующей клавиши и снова ввинчивают шуруп и т. д.

При такой последовательности операций сборка контактной системы производится легко и быстро. При сборке необходимо следить, чтобы контактные поверхности находились точно друг против друга. После окончания сборки контакты следует тщательно отрегулировать так, чтобы при ненажатой клавише был замкнут нижний, а при нажатой — верхний контакт. Замыкание верхнего контакта должно происходить лишь после размыкания нижнего, а минимальные воздушные зазоры между разомкнутыми контактами должны быть не меньше 0,2 *мм*.

На рис. 22 показан другой вариант конструкции клавиатуры и контактной системы. Эта конструкция отличается от предыдущей тем, что она не имеет направляющих штифтов и контакты в ней расположены под клавишами.

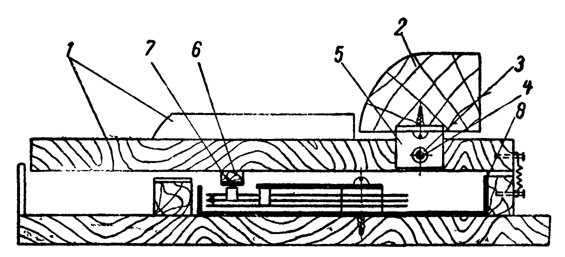



Рис. 22. Вариант конструкции клавиатуры.

В конструкции используются контакты от телефонных реле. Размещение их под клавишами дает возможность сократить размеры клавиатуры. Клавиши имеют круглые отверстия, в которые запрессованы бронзовые втулки *3*. Через эти втулки проходит ось *4* — стальная проволока диаметром 2—3 *мм*. Внутренний диаметр втулки должен быть точно равен диаметру проволоки, чтобы не было заметного люфта. Для сохранения необходимого зазора (0,5—1 *мм*) между клавишами на ось надевают шайбы. Ось крепится к верхней рейке *2* при помощи скобы *5* через каждые три-четыре клавиши. В этих местах скобы выполняют роль дистанционных шайб. Рейка *2* должна быть достаточно жесткой, так как на нее будет передаваться усилие при нажатии клавишей. Для замыкания контактов клавиша *1* имеет приклеенный к ней снизу деревянный выступ *6*. К нижней части выступа приклеивают пластинку *7* из гетинакса, которая меньше подвергается износу, нежели дерево. Контактная система имеет по всей длине экран *8*.

Упрощенный вариант этой конструкции показан на рис. 23. Здесь роль шарнира выполняет тонкая пластинка *2* из гетинакса. Вместо гетинакса можно применить любой эластичный материал (целлулоид, органическое стекло и др.). Эту пластинку приклеивают одним концом к клавише *1*, а другой конец ее зажимают между двумя рейками шурупами, которые ввинчивают в промежуток между клавишами. Между торцом клавиши и прижимной рейкой *3* оставляют зазор 1—2 *мм*, для чего во время сборки и регулировки между клавишей и верхней прижимной рейкой вкладывают полоску картона соответствующей толщины. По окончании регулировки полоску вынимают. В этой конструкции следует применить более жесткую возвратную

пружину *4* и достаточно жесткую верхнюю опорную рейку *5*. Вместо стальной пружины можно применить резиновый шнур или тесьму. Возвратную пружину можно расположить и в рейке *6*. Для этого в рейке высверливают отверстие (на $^2/_3$ толщины), в которое вставляют спиральную пружину. Длину пружины надо подобрать опытным путем.

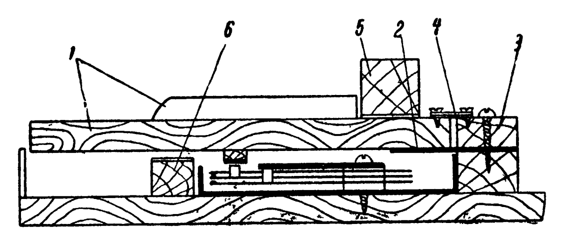



Рис. 23. Упрощенная конструкция клавиатуры.

На белые клавиши сверху и с торца надо наклеить белый целлулоид или пластмассу, а черные клавиши покрыть черным лаком. При окончательном оформлении клавиатуры следует предусмотреть удобное размещение переключателей тембров (либо над клавиатурой, либо сбоку от нее).

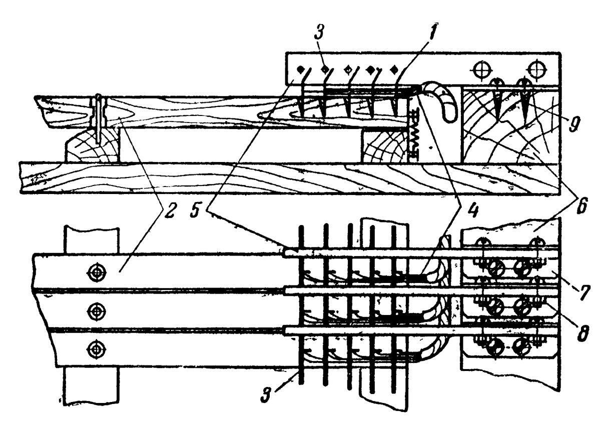



Рис. 24 Клавиатура для получения гармонического синтеза тембров.

Как уже было сказано, для осуществления гармонического синтеза тембров каждая клавиша должна иметь несколько пар контактов (не менее трех). Применять для этого контакты реле и подобные им из-за большой громоздкости конструкции нецелесообразно На рис. 24 изображена клавиатура с самодельными контактами, ко торые имеют малые размеры и просты в изготовлении. Каждая кла

виша такой конструкции имеет пять пар контактов. Подвижные контакты *1* укреплены на клавише *2* и посредством изолированных гибких проводов *4* соединены с выходами делителей частоты. Сборные шины *3*, соединенные со входами предварительных усилителей, являются одновременно неподвижными контактами. Они пропущены через отверстия в держателях *5*, которые крепятся к рейке *6* скобами *7*, винтами *8* и шурупами *9*.

Подвижные контакты изготовлены из упругой латунной проволоки диаметром 0,3—0,5 *мм* (можно использовать проволоку и из других сплавов цветных металлов) следующим образом. Из проволоки нарезают куски длиной 20 *мм*. Затем плоскогубцами один из концов заготовки надо немного загнуть. Чтобы облегчить припайку проводов к контактам, последние необходимо в предполагаемом месте подсоединения облудить. Для укрепления заготовленных контактов в клавише делают тонким шилом отверстия на глубину 8—9 *мм*. В эти отверстия вставляют контакты и зажимают их деревянными клиньями.

Сборные шины изготавливают из латунной или бронзовой проволоки диаметром 1—1,5 *мм*, а держатели для них — из гетинакса или другого изоляционного материала толщиной 1—3 *мм*. Металлические скобы для крепления держателей могут быть любыми толщиной около 1 *мм*. Соединительные провода *4* закрепляют на клавише клеем.

После сборки клавиатуры контактную систему необходимо отрегулировать так, чтобы при нажатии клавиши одновременно замыкались все пять контактов. Кроме того, замыкание контактов должно происходить при половине хода клавишей.

Описанные выше конструкции контактных систем клавиатур довольно просты в изготовлении, но в них отсутствует возможность пальцевого управления громкостью и они недостаточно надежны в работе. Кроме того, мгновенное замыкание цепи такими контактами связано с жесткой атакой звука, что не всегда приятно воспринимается на слух.

Интересна конструкция клавиатуры без механических контактов, в которой функцию контактной пары может выполнять газоразрядный прибор, например неоновая лампа. Если включить неоновую лампу между выходом делителя частоты и входом предварительного усилителя, то в обычных условиях это будет равноценно разрыву цепи, так как выходное напряжение делителя меньше напряжения зажигания неоновой лампы. Неоновая лампа может быть зажжена при помощи внешнего высокочастотного электрического поля. При этом сопротивление лампы станет небольшим и цепь между делителем частоты и предварительным усилителем окажется замкнутой. Эта особенность удачно использована в Ионике. Необходимо отметить, что сопротивление неоновой лампы сильно зависит от степени ионизации газа в ней.

На рис. 25 показана конструкция клавиатуры с неоновыми лампами вместо обычных контактов. К клавише *1* прикреплена металлическая скоба *2*, являющаяся электростатическим экраном. Внутри скобы помещены неоновые лампы *4*. Зажигающий электрод *3*, на который подано высокочастотное напряжение порядка 500 *в* (частота 140 *кгц*), расположен по обе стороны от неоновых ламп и изолирован при помощи гетинаксовых пластин *5*. Неоновые лампы ввинчиваются в пластмассовую пластину *6*.

Пока клавиша не нажата, металлическая скоба, укрепленная на ней, экранирует неоновые лампы от высокочастотного поля зажигающего электрода и они практически имеют бесконечно большое сопротивление. При нажатой клавише экранирующая скоба займет положение, показанное на рисунке пунктиром. Под действием высокочастотного поля газ неоновых ламп ионизируется, сопротивление ламп падает до очень малого значения и «контакты» замыкаются. По мере перемещения клавиши степень ионизации газа в лампах меняется плавно в широких пределах, следовательно, в таких же пределах меняется сопротивление неоновых ламп. Благодаря этому громкость звучания электромузыкального инструмента зависит от хода клавишей. Таким образом, становится возможным осуществить заветную мечту — пальцевое управление громкостью.

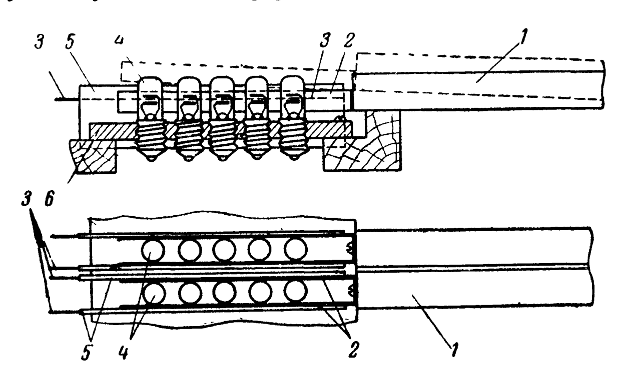


Рис. 25. Конструкция бесконтактной клавиатуры.

В бесконтактной клавиатуре можно применять газоразрядные лампы любых типов. Желательно использовать неоновые лампы малых габаритов. Если диаметр лампы более 9 *мм*, то ширина клавиши (12 *мм*) может оказаться недостаточной для размещения всех необходимых деталей контактной системы. В этом случае контактную систему можно сделать «двухэтажной».

Регулировка этой «контактной» системы заключается в подгонке положения неоновых ламп по высоте таким образом, чтобы при нажатии клавиши все пять неоновых ламп зажигались одновременно.

Высокочастотное напряжение для зажигания неоновых ламп снимается с генератора, схема которого показана на рис. 26. Генератор собран на лампе типа 6П13С по схеме с общей электронной связью. Особенность этой схемы заключается в том, что одна лампа выполняет две функции: она совместно с контуром $L_1C_1$ является автогенератором высокочастотных колебаний и одновременно усилителем мощности, нагрузкой которого служит контур $L_2C_2$. Генератор настраивается на частоту 140 *кгц*.

Катушка $L_1$ с индуктивностью 350 *мкгн* сделана с отводом от $^1/_4$ ее витков, считая от заземленного конца. Катушка $L_2$ с индуктивностью около 1,2 *мгн* имеет четыре секции по 80 витков провода ЛЭШО 20×0,07 или ПЭЛШД 0,7 в каждой. В качестве сердечника

используется ферритовый стержень марки Ф-600 диаметром 8 и длиной 40 *мм*. Выбор изоляции, диаметра провода и способа намотки обусловлен высоким анодным напряжением и значительной мощностью генератора. Конденсаторы $C_2$ и $C_3$ должны быть выбраны на рабочее напряжение не менее 1 500 *в*. Так как к выходу генератора подключена целая сеть соединительных проводов и зажигающих электродов, емкость их, входящая в контур $L_2C_2$, может оказаться достаточной для настройки в резонанс анодного контура. В этом случае конденсатора $C_2$ можно не ставить.

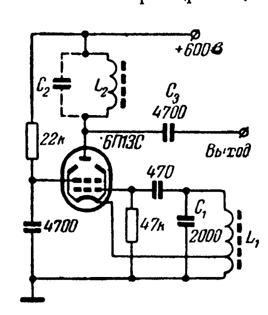



Рис. 26. Схема высокочастотного генератора для бесконтактной клавиатуры.

Питается генератор от источника напряжением около 600 *в*. Поэтому при налаживании и проверке его следует быть особенно осторожным.

При использовании бесконтактной клавиатуры на входах предварительных усилителей необходимо включать *RC*-фильтры для подавления колебаний высокой частоты, которые могут проникнуть через неоновые лампы и паразитные емкости. Корпус инструмента должен быть тщательно экранирован, чтобы не создавать радиопомех.

Если радиолюбитель захочет создать более совершенную конструкцию многоголосного электромузыкального инструмента, позволяющую выделить мелодию из аккомпанемента, то ему необходимо будет сделать инструмент с двумя клавиатурами, каждая из которых должна будеть иметь свой темброблок, предварительный усилитель и регулятор громкости.

## УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

При налаживании и проверке электромузыкального инструмента на первых порах радиолюбитель может пользоваться любым усилителем низкой частоты. Однако использование маломощного и невысококачественного усилителя низкой частоты сводит на нет тот большой труд, который конструктор затратил на постройку многоголосного электромузыкального инструмента.

Для получения мощного и красивого звучания к усилителю низкой частоты многоголосного электромузыкального инструмента предъявляются жесткие требования, которые необходимо выполнить для получения высококачественного звучания инструмента. Выходная мощность усилителя должна быть не менее 15 *вт* (желательно 30 *вт* и больше), коэффициент нелинейных искажений не более 0,5%, полоса воспроизводимых частот 45—15 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики ±3 *дб*. Этим требованиям к нелинейным искажениям не отвечает ни один из усилителей низкой частоты, даже радиоприемников первого класса, а из большого количества схем усилителей низкой частоты, опубликованных в литературе, можно использовать лишь очень немногие.

Необходимость малых нелинейных искажений обусловлена следующим. Звук всех обычных музыкальных инструментов (неадап-

теризованных) является гармоническим, т. е. все гармоники (обертоны), входящие в состав звука, имеют частоты, кратные основной частоте. Такой звук воспринимается как музыкальный. Если музыкальный инструмент поврежден (например, треснул корпус инструмента), то он будет давать дребезжащий звук. В звуке, кроме гармонических составляющих, будут присутствовать негармонические, т. е. не кратные основной частоте. Такой звук уже не будет музыкальным.

При воспроизведении через усилитель низкой частоты одного тона вследствие нелинейных искажений, вносимых усилителем, появляются высшие гармонические составляющие (обертоны). Звук остается при этом музыкальным, изменяется только тембр его. Одновременное воспроизведение нескольких звуков через усилитель низкой частоты, создающий нелинейные искажения, приводит к появлению не только обертонов, но и негармонических составляющих (так называемых комбинационных частот основных тонов и всех обертонов). Это равноценно звучанию поврежденного музыкального инструмента. Вместо красивого аккорда получается неприятное диссонирующее созвучие.

Нелинейные искажения будут также заметны, если многоголосный электромузыкальный инструмент будет использоваться совместно с другими, обычными музыкальными инструментами

Для художественного исполнения на электромузыкальном инструменте необходим достаточно большой динамический диапазон. Поэтому усилитель низкой частоты должен иметь достаточную мощность. При конструировании усилителей низкой частоты, отвечающих всем перечисленным требованиям, наибольшую трудность вызывают оконечный каскад и акустический агрегат, которые являются основными источниками разного рода искажений.

Наиболее рациональным следует считать применение в оконечном каскаде усилителя низкой частоты пентодов, работающих в ультралинейном режиме. Другим путем повышения качества усилителя является применение оконечного каскада без выходного трансформатора. В этом случае отпадает надобность в изготовлении сложных и громоздких выходных трансформаторов, ограничивающих (вследствие имеющейся индуктивности рассеивания) полосу воспроизводимых частот и допустимую глубину отрицательной обратной связи.

В акустическом агрегате необходимо применять несколько громкоговорителей, подавая на каждый из них напряжение определенной части частотного диапазона Это сильно снижает интермодуляционные искажения. При подаче на один громкоговоритель всего спектра звуковых частот наблюдаются искажения, обусловленные взаимной модуляцией. Они возникают при одновременном воспроизведении низких и высоких частот.

На рис. 27 приведена схема усилителя низкой частоты для переносного многоголосного электромузыкального инструмента. Этот усилитель является универсальным К нему можно одновременно подключить еще микрофон и электрогитару или другой адаптеризованный инструмент. В усилителе работают девять ламп (шесть из них — в оконечном каскаде) Выходная мощность усилителя 25 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений менее 0,5% на частоте 400 *гц*, полоса пропускания 30—15 000 *гц*. Вес усилителя вместе с акустическим агрегатом около 10 *кг*. Основной целью

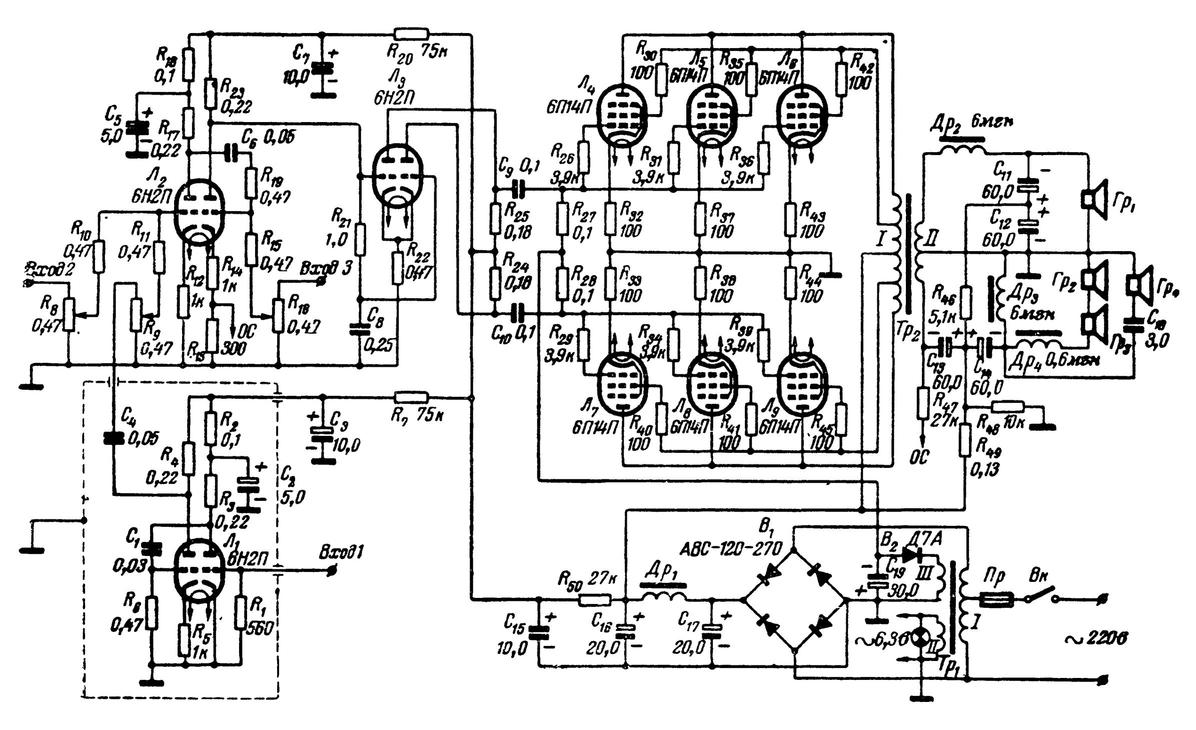


Рис. 27. Схема усилителя низкой частоты для переносного электромузыкального инструмента.

при конструировании этого усилителя было предельное уменьшение веса без потери остальных положительных качеств.

Микрофонный вход *1* (низкоомный) рассчитан на работу усилителя от динамического микрофона Правый (по схеме) триод лампы $Л_1$ работает без сеточного смещения Регулировка усиления микрофонного тракта осуществляется потенциометром $R_9$. Такой способ регулирования громкости позволяет уменьшить фон и шумы усилителя.

На управляющую сетку левого триода лампы $Л_2$ подается одновременно напряжение с микрофонного усилителя и со входа *2*. Чувствительность этого тракта обеспечивает работу усилителя от гитары с электромагнитным адаптером. Чтобы регулировка усиления одного из трактов меньше влияла на величину усиления другого тракта, в схему введены сопротивления развязки $R_{10}$ и $R_{11}$.

Для многоголосного электромузыкального инструмента предназначен вход *3*. Чувствительность этого входа достаточна также для работы усилителя от звукоснимателя. Анодные цепи всех каскадов предварительного усилителя получают питание через развязывающие фильтры Для улучшения частотной характеристики усилителя сопротивления автоматического смещения в катодных цепях ламп не шунтируются конденсаторами.

В инверторном каскаде работает двойной триод $Л_3$. Правильный подбор величины сопротивления $R_{22}$ позволяет обойтись без переходного конденсатора между лампами $Л_2$ и $Л_3$

Оконечный каскад усилителя собран по ультралинейной схеме. Для обеспечения необходимой выходной мощности при минимальных габаритах целесообразно в каждом плече иметь по три лампы. Повышение стабильности работы оконечного каскада достигается введением отрицательной обратной связи с помощью сопротивлений в цепях катодов и экранирующих сеток ламп. При такой схеме распределение мощности между лампами получается более равномерным.

Без отрицательной обратной связи по току параллельная работа ламп практически невозможна ввиду большого разброса их параметров. Несимметрия плеч выходного каскада вызывает значительные нелинейные искажения (1,5—2%) даже в ультралинейном режиме. Дальнейшее уменьшение нелинейных искажений достигается с помощью отрицательной обратной связи по напряжению. Напряжение обратной связи (ОС) снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_2$ и подается на катод правого триода лампы $Л_2$.

На выходе усилителя происходит разделение полосы частот на диапазоны 40—400, 400—4 000 и 4 000—15 000 *гц* Разделение осуществляется при помощи конденсаторов и дросселей На громкоговоритель $Гр_1$ подаются низкие, на $Гр_2$ и $Гр_3$ — средние и на $Гр_4$— высокие звуковые частоты. Чтобы в разделительных фильтрах можно было использовать малогабаритные электролитические конденсаторы, на них подается постоянное напряжение около 25 *в* через высокоомный делитель напряжения $R_{48}$ $R_{49}$.

Регулировка тембра в самом усилителе не предусмотрена.

Чтобы уменьшить габариты и вес, в выпрямителе применен автотрансформатор $Тр_1$. Высокое напряжение подается от выпрямителя $В_1$ с селеновыми столбиками типа АВС-120-270 Для обеспечения необходимого выпрямленного тока два селеновых столбика со-

единены параллельно. Отрицательное напряжение 11 *в* для сеточного смещения оконечных ламп получается от отдельного однополупериодного выпрямителя $B_2$ с германиевым диодом типа Д7А.

Усилитель вместе с выпрямителем собран на шасси из гетинакса толщиной 3 *мм* размерами 300×140×35 *мм*. Расположение деталей на шасси показано на рис. 28.

Особое внимание обращено на уменьшение веса трансформаторов и дросселей. Используя в качестве сердечника стандартные Ш-образные пластины трансформаторной стали, трудно сконструировать трансформаторы с малым весом. Поэтому применены пластины от выходного трансформатора радиоприемника «Люкс», имеющие увеличенное окно.

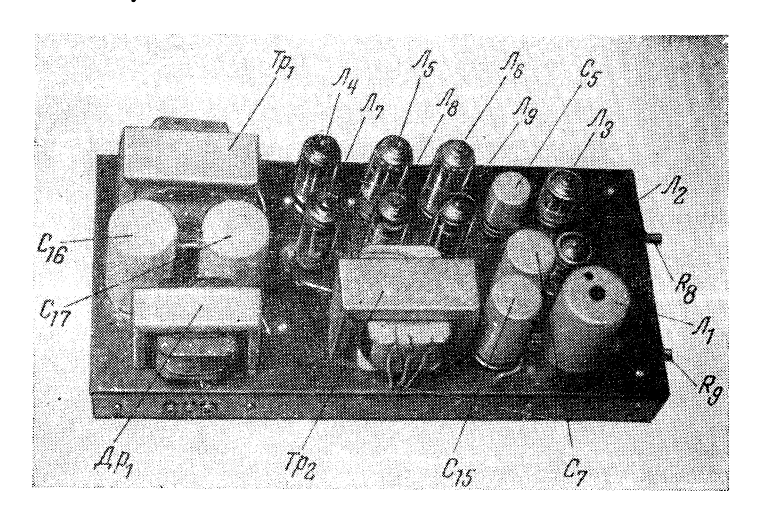



Рис. 28. Расположение деталей на шасси усилителя.

Удельные нагрузки сердечника и обмоток выходного трансформатора $Tp_2$ не превышают допустимых. В трансформаторе питания $Tp_1$ удельные нагрузки немного завышены, что дало возможность получить от него мощность около 140 *вт* при весе 0,7 *кг*. Поэтому непрерывная работа усилителя возможна лишь в течение 1—1,5 *ч*. После этого усилитель должен быть выключен для охлаждения трансформатора не менее чем на 15 *мин*. Так как усилитель не изолирован от питающей сети, все металлические детали, соединенные с общим (минусовым) проводом, в целях безопасности должны быть надежно изолированы.

Сердечник дросселя фильтра выпрямителя $Дp_1$ имеет зазор 0,5 *мм* (толщина картонной прокладки 0,25 *мм*). Необходимую индуктивность дросселей разделительных фильтров на выходе усилителя $Дp_2$ — $Дp_4$ подбирают изменением зазора сердечников.

Трансформаторы $Tp_1$ и $Tp_2$ выполнены на сердечниках от выходных трансформаторов радиоприемника «Люкс»; толщина пакета

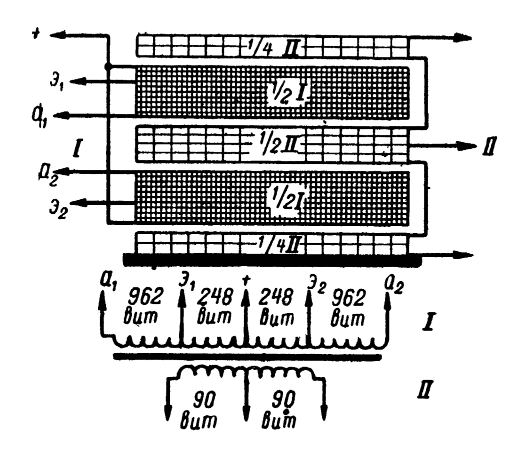



Рис. 29. Расположение обмотки и моточные данные выходного трансформатора.

30 *мм*. Сетевая (она же и повышающая) обмотка *I* трансформатора $Тр_1$ содержит 1 200+230 витков провода ПЭЛ 0,3, обмотка *II* для накала ламп состоит из 55 витков ПЭЛ 0,8, а обмотка *III* для выпрямителя смещения — из 60 витков ПЭЛ 0,15. Трансформатор $Тр_2$ имеет секционированные первичную и вторичную обмотки. Первичная обмотка *I* намотана проводом ПЭЛ 0,23, а вторичная *II* — проводом ПЭЛ 0,6. Моточные данные и схема соединений секций показаны на рис. 29.

Дроссели для разделения частот ($Др_2$, $Др_3$ и $Др_4$) намотаны на сердечниках из пластин Ш-9 при толщине пакета 10 *мм* проводом ПЭЛ 0,8. Дроссели $Др_2$ и $Др_3$ содержат по 60, а $Др_4$—20 витков. Дроссель фильтра выпрямителя $Др_1$ имеет сердечник из пластин Ш-20 при толщине пакета 20 *мм*. Обмотка выполнена проводом марки ПЭЛ 0,23 до заполнения каркаса.

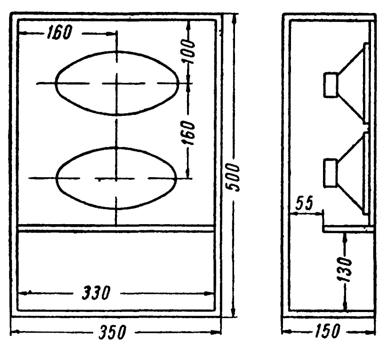



Рис. 30. Ящики для громкоговорителей переносного электромузыкального инструмента.

Значения индуктивностей и емкостей разделительных фильтров рассчитаны для низкочастотного громкоговорителя типа 6ГД-1, среднечастотных типа 5ГД-14 и высокочастотного 1ГД-1.

Громкоговорители (акустический агрегат) размещены в двух ящиках, сделанных из фанеры толщиной 10 *мм* (рис. 30). В одном ящике смонтированы громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_4$, а в другом — $Гр_2$ и $Гр_3$. В нижних частях ящика помещаются усилитель и соедини-

тельные провода при их переноске, а сами ящики соединяются лицевыми сторонами при помощи специальных замков. Во время же работы усилитель размещается отдельно от акустического агрегата. Снаружи ящики оклеены дерматином.

Налаживание усилителя начинают с проверки режима оконечных ламп. Перед этим проверяют правильность подключения отрицательной обратной связи. Если усилитель возбуждается, то нужно переключить выводы вторичной обмотки выходного трансформатора. Затем устанавливают нормальный режим ламп $Л_1$ и $Л_2$. Режим правого триода лампы $Л_2$ подбирают при вынутой лампе $Л_3$, так как сеточный ток последней может нарушить истинное распределение напряжений Нормальное отрицательное смещение на сетках лампы $Л_3$ устанавливают подбором сопротивления $R_{22}$.

На рис. 31 показана схема высококачественного двухканального усилителя низкой частоты, предназначенного для стационарного электромузыкального инструмента. Он может быть также с успехом использован для воспроизведения магнитной и граммофонной записи. Выходная мощность этого усилителя 30 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений на частоте 400 *гц* меньше 0,5%. Полоса воспроизводимых частот 30—15 000 *гц*. Разделение частот на каналы происходит на частоте 800 *гц*.

Ко входу *1* подключают электромузыкальный инструмент, а ко входу *2* можно подключить звукосниматель или радиоприемник Громкость регулируется потенциометром $R_4$. Сопротивления $R_2$ и $R_3$ и конденсаторы $C_1$, $C_2$, $C_3$ и $C_4$ образуют цепь тон-коррекции. Разделение частот на каналы осуществляется после общего предварительного усилителя, собранного на одном из триодов лампы $Л_1$.

Через разделительные фильтры $C_8C_{10}C_{16}R_{12}R_{13}R_{14}$ в канале верхних и $C_7C_{11}R_8R_9R_{11}$ в канале нижних частот напряжение сигнала поступает на сетки ламп усилителей разделенных частот (левые по схеме триоды ламп $Л_2$ и $Л_3$). Усиление каждого канала регулируется потенциометрами $R_8$ и $R_{14}$. Фазоинверторы собраны на правых (по схеме) триодах ламп $Л_2$ и $Л_3$.

Оконечные лампы включены по ультралинейной схеме. В каждом плече работает по две лампы. Каждый канал усилителя имеет основную петлю обратной связи ($R_{39}$ в канале верхних и $R_{50}C_{19}$ в канале нижних частот) и две местные обратные связи (цепи $R_{17}C_9$ и $R_{21}C_{14}$).

На выходе верхнечастотного канала происходит дополнительное разделение частот (частота разделения 6 000 *гц*) при помощи дросселей $Др_1$, $Др_2$ и конденсаторов $C_{30}$, $C_{31}$. Частоты выше 6 000 *гц* подаются на громкоговорители $Гр_3$, $Гр_4$, $Гр_5$ и $Гр_6$ типа 1ГД-1, а частоты 800—6 000 *гц* — на громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_2$ типа 4ГД-2. На выходе канала нижних частот включены громкоговорители $Гр_7$ и $Гр_8$ (от радиоприемника «Рига-10»), имеющие сопротивление звуковой катушки 12 *ом*.

Акустический агрегат состоит из низкочастотного фазоинвертора, в котором помещены громкоговорители $Гр_7$ и $Гр_8$, и двух небольших ящиков, в каждом из которых смонтированы один громкоговоритель типа 4ГД-2 и два громкоговорителя типа 1ГД-1. Размеры фазоинвертора и ящиков даны на рис. 32.

Питание усилителя и электромузыкального инструмента осуществляется от отдельного выпрямителя (рис. 33). Напряжение для питания анодных цепей усилителя выпрямляется селеновыми стол-

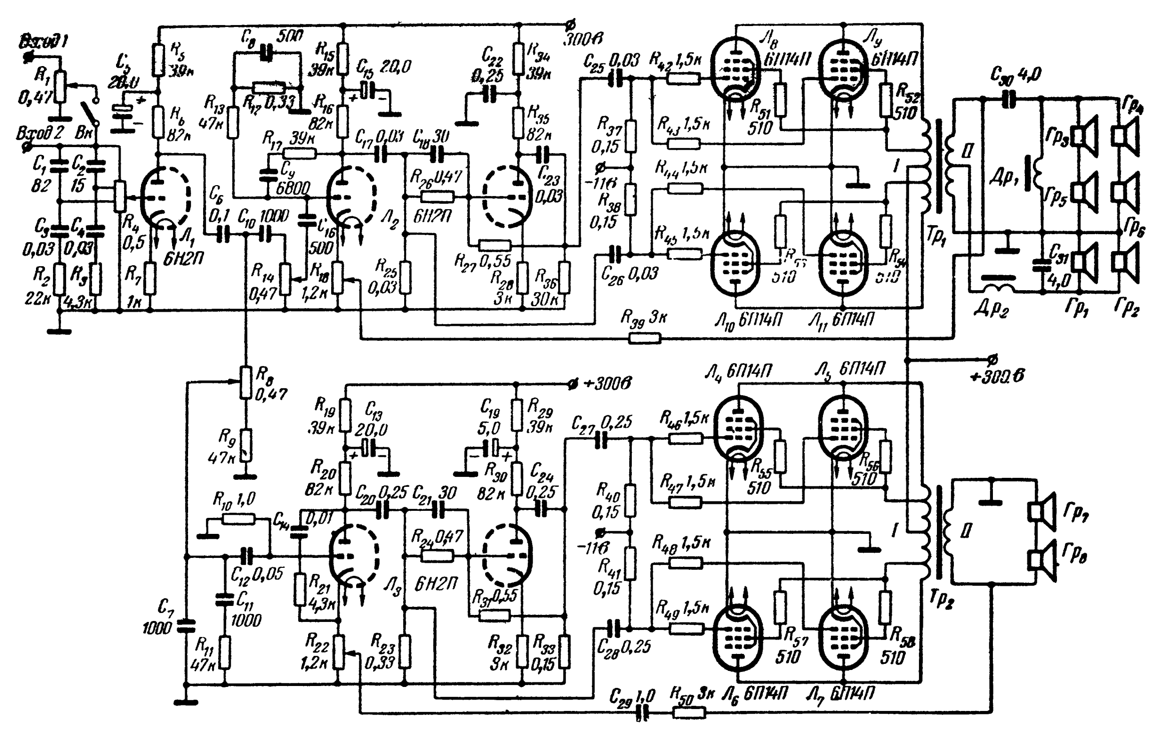


Рис. 31. Схема двухканального усилителя низкой частоты для стационарного электромузыкального инструмента.

биками типа АВС-120-270, включенными по двухполупериодной схеме. Для питания анодных цепей задающих генераторов и делителей частоты электромузыкального инструмента служит выпрямитель с двумя селеновыми столбиками типа АВС-80-260. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитронами $Л_1$ и $Л_2$. Напряжение для смещения оконечных ламп выпрямляется полупроводниковым диодом типа Д7А.

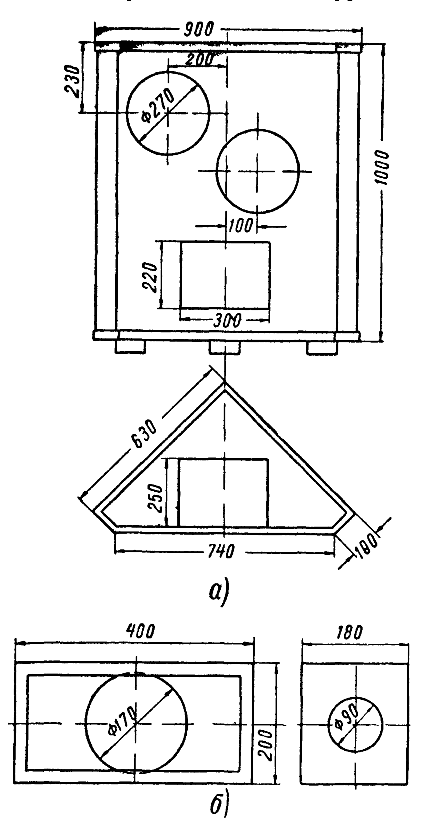



Рис. 32. Чертеж акустического агрегата.

*а* — фазоинвертор; *б* — ящик для громкоговорителей средних и верхних частот

Усилитель собран на алюминиевом шасси размерами 400×160×50 *мм*. Расположение деталей на шасси показано на рис. 34. Выпрямитель выполнен на отдельном шасси размерами 340×160×50 *мм*. Расположение деталей выпрямителя на этом шасси показано на рис. 35.

Выходной трансформатор $Тр_1$ собран на сердечнике из пластин Ш-27, толщина пакета 45 *мм*. Каркас для обмоток разделен посредине щечкой, имеющей несколько прорезей для прохода проводов Обмотка *I* состоит из 930 витков провода ПЭЛ 0,27, а обмотка *II* — из 62 витков провода ПЭЛ 0,5 Расположение обмоток на каркасе и схема соединения их показаны на рис. 36.

Выходной трансформатор $Тр_2$ собран на сердечнике из пластин Ш-20, толщина пакета 30 *мм* Обмотка *I* состоит из 4 200 витков провода ПЭЛ 0,27, а обмотка *II* — из 284 витков ПЭЛ 0,5. Расположение обмоток на каркасе и схема соединения их также показаны на рис. 36.

Трансформатор питания *Тр* в выпрямителе взят от радиоприемника «Мир». Он имеет сердечник из пластин Ш-40, толщина пакета 60 *мм*. Обмотка *I* (сетевая) состоит из 2×(197+31) витков провода ПЭЛ 0,64, обмотка *II* (повышающая)—из 2×550 витков ПЭЛ 0,31, обмотки *III*, *IV* и *V* (накальные) имеют по 12 витков ПЭЛ 1,5 и обмотка *VI* (для получения напряжения смещения оконечных ламп) содержит 18 витков ПЭЛ 0,2.

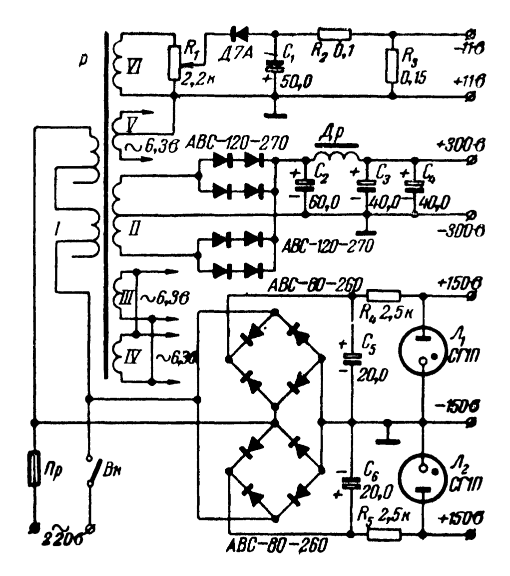



Рис. 33. Схема выпрямителя к двухканальному усилителю.

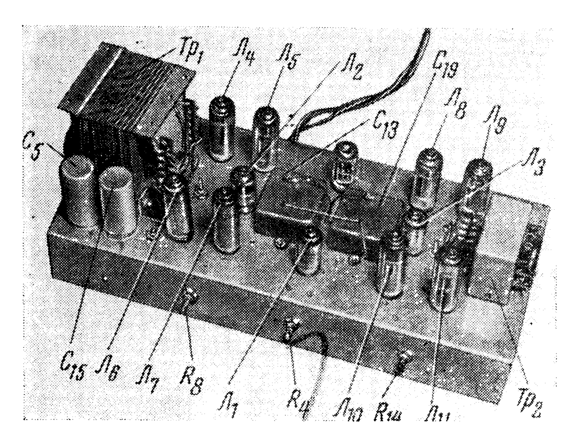



Рис. 34. Расположение деталей на шасси усилителя.

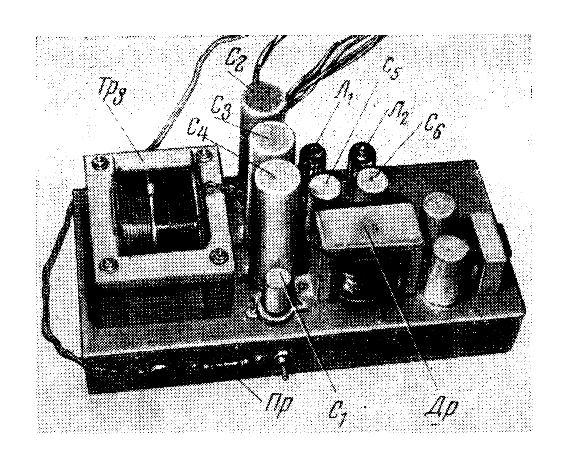



Рис. 35. Расположение деталей на шасси выпрямителя.

Дроссель фильтра $Др_3$ имеет сердечник из пластин Ш-25 (толщина пакета 35 *мм*) с зазором 0,4 *мм* и обмотку из 3 500 витков провода ПЭЛ 0,27.

Разделительные дроссели $Др_1$ и $Др_2$ намотаны на сердечниках из пластин Ш-10 (толщина пакета 10 *мм*) с зазором 0,3 *мм* проводом ПЭЛ 1,0. Обмотки их содержат по 40 витков.

Налаживание усилителя начинают с установки необходимых режимов ламп. При наличии звукового генератора и измерителя нелинейных искажений значения сопротивлений $R_{34}$—$R_{37}$ подбирают по минимуму нелинейных искажений. Глубину отрицательной обрат-

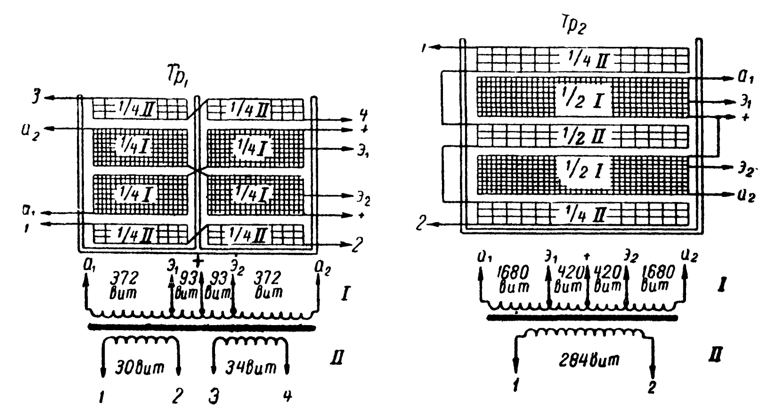



Рис. 36. Расположение обмоток и моточные данные выходных трансформаторов двухканального усилителя.

ной связи основной петли устанавливают потенциометрами $R_{18}$ и и $R_{22}$.

Две рассмотренные схемы усилителей низкой частоты отвечают требованиям, предъявляемым к усилителям для многоголосных электромузыкальных инструментов. Но необходимо отметить, что получение от усилителей наилучших качественных показателей (в основном минимальных нелинейных искажений) возможно только в том случае, если при налаживании используется соответствующая аппаратура. При налаживании без приборов нелинейные искажения могут оказаться больше 0,5%, так как на слух или с помощью осциллографа можно обнаружить только нелинейные искажения, превышающие 3%.

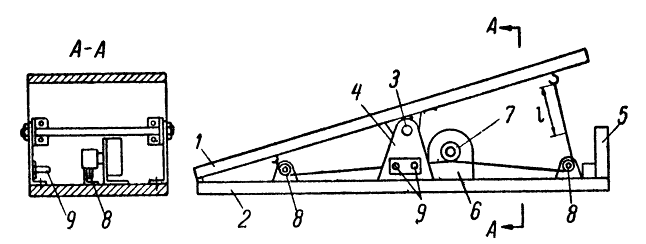



Рис. 37. Конструкция педального регулятора громкости.

При игре на электромузыкальном инструменте большое значение имеет регулировка громкости. В отличие от обычного регулятор громкости для электромузыкального инструмента должен быть выполнен так, чтобы имелась возможность непрерывного его использования. При игре на инструменте обе руки исполнителя заняты, поэтому оказалось наиболее удобным регулировать громкость при помощи ножной педали. Одна из конструкций ножного (педального) регулятора громкости приведена на рис. 37.

Педальный регулятор громкости состоит из верхней *1* и нижней *2* планок, сделанных из доски толщиной 10 *мм*. Верхняя планка может вращаться вокруг оси *3*, которая входит в кронштейны *4*, изготовленные из листовой стали толщиной 1,5—2 *мм*. Ход верхней планки педали ограничивается упором *5*. Потенциометр с логарифмической характеристикой укрепляется на специальной скобе *6*, прикрепленной к нижней планке. На ось потенциометра надет валик *7*, на который наматывается жильная струна или тросик от верньерного устройства радиоприемника. Для предотвращения проскальзывания валик имеет сквозное отверстие, через которое пропущен тросик.

Диаметр валика потенциометра подсчитывается по формуле

$$D = \frac{360l}{3,14\alpha},$$

где $D$ — диаметр валика, *мм*;
$l$ — ход педали, *мм*;
$\alpha$ — угол поворота потенциометра.

Тросик натягивают и закрепляют в двух местах верхней планки педали. Ролики *8* служат для направления тросика. Через гнез-

да 9 потенциометр подключается к усилителю низкой частоты. Провод от потенциометра до усилителя должен быть экранированным.

В заключение отметим, что существует еще один путь высококачественного воспроизведения звука многоголосных электромузыкальных инструментов — применение отдельных каналов усилителя для одноименных звуков, например только для всех «до». Но в этом случае потребуются 12 каналов усиления, отдельный громкоговоритель на каждый канал и 12 темброблоков. Такая система обеспечивает очень высокое качество воспроизведения звука при более низких требованиях к усилителям, чем в случае одноканального или двухканального усиления. Однако такой специальный усилитель применим только для многоголосных электромузыкальных инструментов и не может быть использован для других целей.

## ПЕРЕНОСНЫЙ МНОГОГОЛОСНЫЙ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА НЕОНОВЫХ ЛАМПАХ

Этот инструмент собран по блок-схеме с семью задающими генераторами. Он охватывает диапазон от «ми» большой октавы до «до» третьей октавы. Клавиатура состоит из 45 клавишей. В инструменте использованы шесть двойных триодов типа 6Н1П, кенотрон типа 5Ц4С, два стабилитрона (СГ3С и СГ4С) и 45 неоновых ламп типа МН-6. Инструмент имеет четыре тембра, которые могут быть использованы при включенном или выключенном вибрато, а также при включенном или выключенном каскаде управления затуханием звука. Это дает 16 комбинаций различных звучаний.

На рис. 38 приведена принципиальная схема инструмента. Здесь показаны генератор вибрато (общий для всего инструмента), один из семи задающих генераторов (настроенный на частоту 2 093 *гц*) и синхронизируемые им восемь делителей частоты (все «до» и «фа»). Остальные шесть задающих генераторов и делители частоты имеют такие же значения емкостей и сопротивлений и поэтому на схеме не показаны. Кроме того, на схеме показаны предварительный усилитель, темброблок и выпрямитель. Взаимодействие всех узлов инструмента поясняет блок-схема, приведенная на рис. 3.

Задающий генератор собран на триоде $Л_{4б}$ по трехточечной схеме. Частоту генератора, в небольших пределах, можно изменять переменным сопротивлением $R_9$, ручка которого выводится на переднюю панель шасси. Контурная катушка генератора имеет сердечник, собранный из разрезанных пополам трансформаторных пластин Ш-20. Каркас катушки склеивают из картона. Обмотка содержит 3 000 витков провода ПЭЛ 0,17 с отводом от 1 000-го витка, считая от заземленного конца. Толщина пакета сердечника подбирается при налаживании (она может достигать 10 *мм*).

Синхронизирующее напряжение снимается с анода лампы и подается на элементы синхронизации первых делителей частоты ($НЛ_1$ и $НЛ_8$). Элемент синхронизации представляет собой три витка монтажного провода, намотанного на баллон неоновой лампы. Делитель частоты с неоновой лампой $НЛ_1$ имеет кратность деления, равную *2*, а делитель частоты с лампой $НЛ_8$ — равную *3*. Последующие делители частоты осуществляют октавное деление частоты, т. е. деление на *2*.

Собственная частота колебаний делителей изменяется переменными сопротивлениями $R_{11}$, $R_{15}$, $R_{19}$, ..., $R_{39}$. Постоянные сопротивления $R_{12}$, $R_{16}$, $R_{20}$, ..., $R_{40}$, включенные последовательно с переменными, служат для ограничения тока через неоновые лампы при выведенном переменном сопротивлении.

Пилообразное напряжение с делителей частоты через цепочки $C_{11}R_{13}$, $C_{13}R_{17}$, $C_{15}R_{21}$, ..., $C_{25}R_{41}$ подается на контактную систему клавиатуры. Показанное на схеме положение контактов клавиатуры $K_1$, $K_8$ и т. д. соответствует ненажатым клавишам. При таком положении контактов пилообразное напряжение не поступает на сетку лампы предварительного усилителя.

Сопротивления $R_{13}$, $R_{17}$, $R_{21}$, ..., $R_{41}$ служат для предотвращения срыва колебаний делителей частоты при ненажатых клавишах. Сопротивления $R_{14}$, $R_{18}$, $R_{22}$, ..., $R_{42}$ необходимы для того, чтобы при указанном на схеме положении контактов клавиатуры сетка лампы предварительного усилителя не была заземлена. Помимо этого, они являются сопротивлением утечки сетки лампы $Л_{5а}$. При нажатии клавиши соответствующий контакт $K$ замыкает одно из этих сопротивлений и пилообразное напряжение поступает на сетку триода $Л_{5а}$.

Предварительный усилитель на триоде $Л_{5а}$ может работать в двух режимах. При замкнутом положении выключателя $Вк_2$ обеспечивается нормальное смещение на сетке триода. При разомкнутом выключателе $ВК_2$ каскад позволяет изменять характер затухания звука.

Триод $Л_{5б}$ используется в качестве предварительного усилителя для электронного реле, которое собрано на лампе $Л_6$ и служит для переключения контактов реле $P$. Для увеличения тока через обмотку реле оба триода лампы $Л_6$ соединены параллельно. В этом каскаде применено поляризованное электромагнитное реле типа ТРМ с током срабатывания около 4 *ма*. Переменная составляющая анодного тока выпрямляется полупроводниковыми диодами $Д_1$ и $Д_2$. Конденсатор $C_{38}$ преграждает путь постоянной составляющей анодного тока лампы через обмотку реле.

После предварительного усиления пилообразное напряжение поступает в темброблок, состоящий из формантных контуров $L_3C_{32}$, $L_2C_{31}$ и цепей $R_{48}C_{30}$, $R_{49}C_{33}$. Резонансные частоты контуров $L_3C_{32}$ и $L_2C_{31}$ равны соответственно 500 и 1 000 *гц*. Катушки $L_3$ и $L_2$ намотаны на пермаллоевых сердечниках из пластин Ш-9 с зазором 0,1 *мм* и имеют соответственно 2 000 и 1 000 витков провода ПЭЛ 0,15. Для устранения наводок эти катушки помещены в магнитные экраны из стали толщиной 0,5 *мм*.

Включение того или иного тембра осуществляется клавишным переключателем от радиоприемника «Октава», имеющего семь клавишей. Одна из этих клавишей служит для отключения инструмента от электросети. Включение инструмента в электросеть производится нажатием любой другой клавиши переключателя.

Генератор вибрато собран на триоде $Л_{1а}$. Для устранения взаимного влияния задающих генераторов каждый из них связан с генератором вибрато через цепь, состоящую из конденсатора и высокоомного сопротивления ($R_8$ и $C_7$ для показанного на схеме генератора).

Громкость регулируют переменным сопротивлением, установленным в ножной педали.

Делители частоты и анодные цепи ламп задающих генераторов питаются стабилизированными напряжениями 150 и 250 *в* от последовательно включенных стабилитронов $Л_7$ и $Л_8$. Чтобы получить больший коэффициент стабилизации, к стабилизатору подводят постоянное напряжение 500 *в*. Половина этого напряжения падает на балластном сопротивлении $R_{57}$ (8 *ком*), рассчитанном на мощность рассеяния 10 *вт*. Для повышения надежности работы выпрямителя на входе фильтра применено последовательное соединение двух электролитических конденсаторов. Для равномерного распределения на-

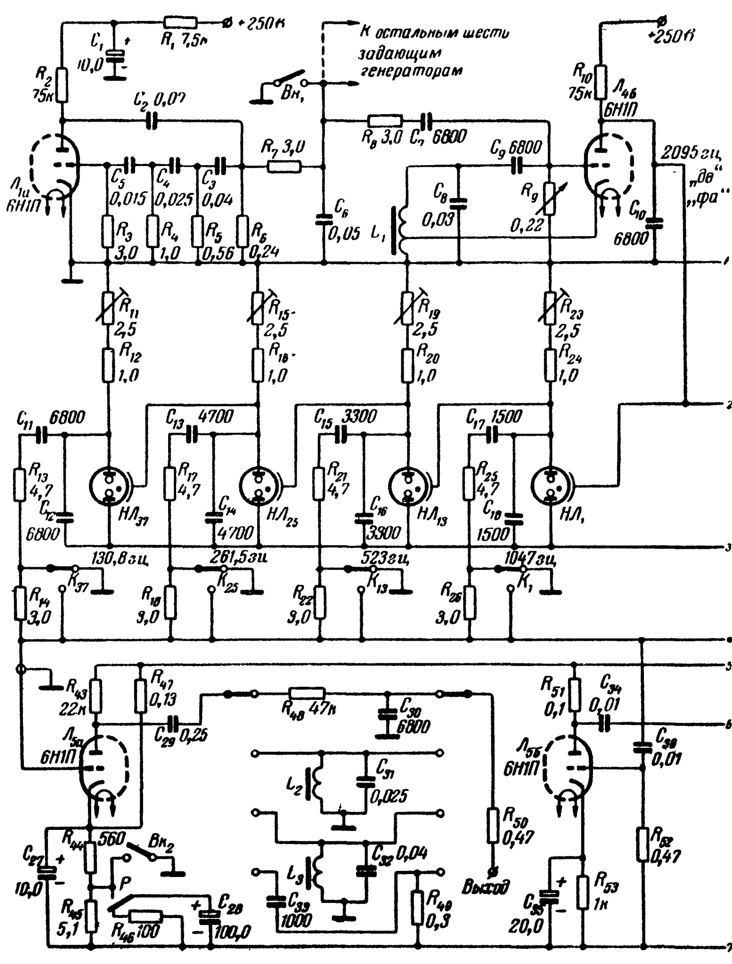


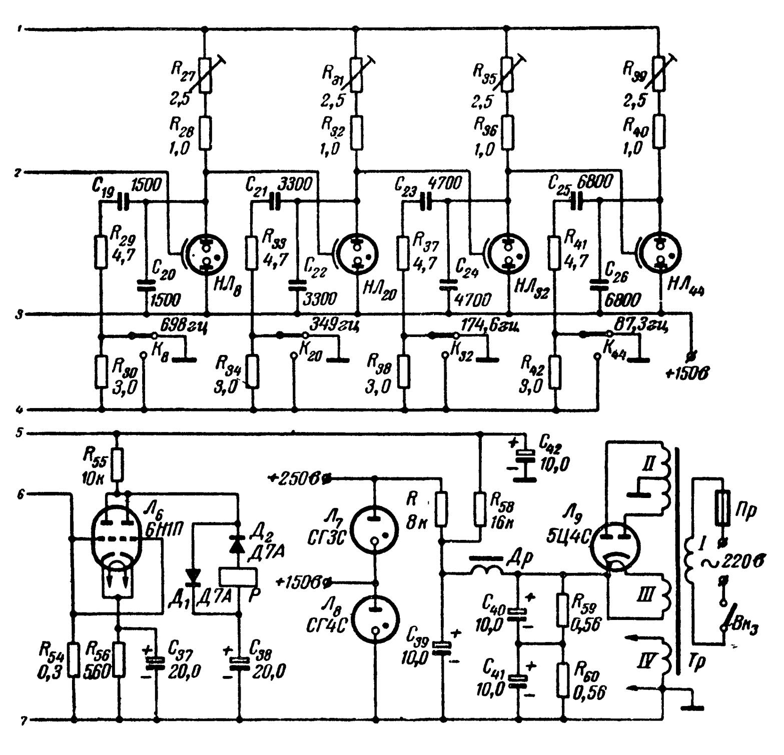

Рис. 38. Схема многоголосного электро

пряжения между конденсаторами параллельно им включены сопротивления $R_{59}$ и $R_{60}$.

Трансформатор питания *Тр* выполнен на сердечнике из пластин Ш-30, толщина пакета 40 *мм*. Сетевая обмотка *I* состоит из 750 витков провода ПЭЛ 0,3, повышающая обмотка *II* — из 2×1 650 витков ПЭЛ 0,17, а накальные обмотки *III* и *IV* для кенотрона и триодов — соответственно из 17 и 22 витков ПЭЛ 0,6.

Дроссель фильтра *Др* имеет сердечник из пластин Ш-20, толщина пакета 30 *мм*. Он намотан проводом ПЭЛ 0,2 до заполнения каркаса. Инструмент смонтирован в деревянном ящике, общий вид которого показан на рис. 39. Внутри ящика помещено дюралюминиевое шасси, на котором смонтированы все узлы инструмента (рис. 40).

Делители частоты монтируют на трех гетинаксовых платах размерами 290×140 *мм* (толщина 2 *мм*), одна из которых помещается под шасси, а две другие — над ним. Для крепления конденсаторов делителей частоты в платах сверлят отверстия диаметром 3 *мм* (рис. 41). В эти отверстия вставляют выводы конденсаторов и с обратной стороны платы загибают их. Предварительно выводы обрезают так, чтобы для загиба остался конец длиной 5 *мм*. К это-




музыкального инструмента на неоновых лампах.



Рис. 39. Внешний вид многоголосного электромузыкального инструмента на неоновых лампах.

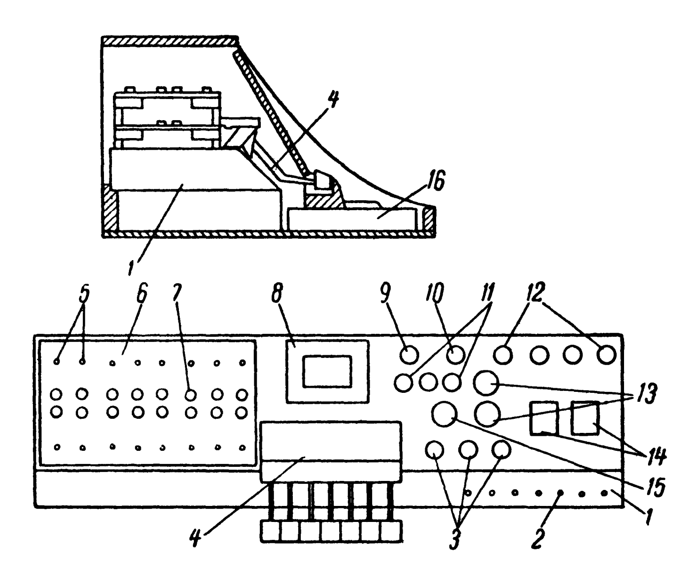



Рис. 40. Размещение деталей на шасси и конструкция ящика многоголосного электромузыкального инструмента.

*1* — шасси; *2* — ручки настройки задающих генераторов; *3* — электролитические конденсаторы $C_{39}$, $C_{40}$ и $C_{41}$; *4* — переключатель тембров; *5* — ручки настройки делителей частоты; *6* — плата с делителями частоты; *7* — неоновые лампы; *8* — трансформатор питания; *9* — лампа электронного реле; *10* — лампа предварительного усилителя; *11* — электролитические конденсаторы $C_1$ и $C_{42}$; *12* — лампы задающих генераторов; *13* — стабилитроны; *14* — резонансные контуры темброблока; *15* — кенотрон; *16* — клавиатура.

му концу припаивают монтажные провода и другие элементы схемы. Неоновые лампы крепят в отверстиях платы, высверленных точно по диаметру цоколя. Если неоновая лампа плотно вставлена в такое отверстие, то она там надежно удерживается трением. Такой способ крепления прост и не требует специальных держателей или патронов для неоновых ламп. Монтажные провода припаивают прямо к цоколю лампы. Пайку необходимо делать очень быстро, чтобы не испортить лампу.

Провода, идущие от делителей частоты к контактам клавиатуры, связывают в один жгут. Специальной экранировки этот «кабель» не требует, так как провода, соединенные с контактами не-

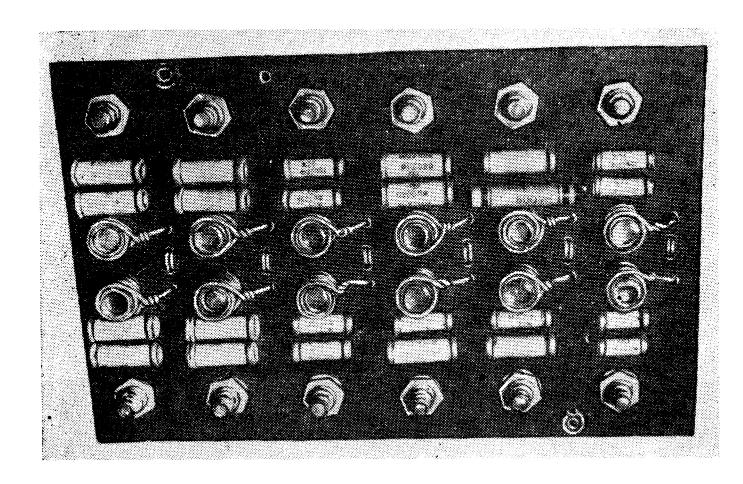


Рис. 41. Монтажная плата с делителями частоты.

нажатых клавиш, заземлены и являются своеобразным экраном для проводов, соединенных с нажатыми в данный момент клавишами.

Особое внимание следует уделить экранировке всех клавишных контактов и монтажу задающих генераторов. При отсутствии экранировки последних может появиться фон, в котором прослушиваются частоты всех задающих генераторов. Экран делают из листов жести толщиной 0,5 *мм*. Необходимо также тщательно экранировать провода, соединяющие аноды ламп задающих генераторов с элементами синхронизации первых делителей частоты.

Контуры задающих генераторов смонтированы на отдельной гетинаксовой пластине размером 140×100 *мм* и находятся над шасси. Переключатель тембров прикрепляется к шасси при помощи металлических стоек.

Конструкция клавиатуры показана на рис. 22.

Налаживание инструмента начинают с проверки режимов ламп. Затем переходят к регулировке задающих генераторов. Для этого переменное сопротивление $R_9$ задающего генератора устанавливают в среднее положение. Необходимую частоту колебаний генератора

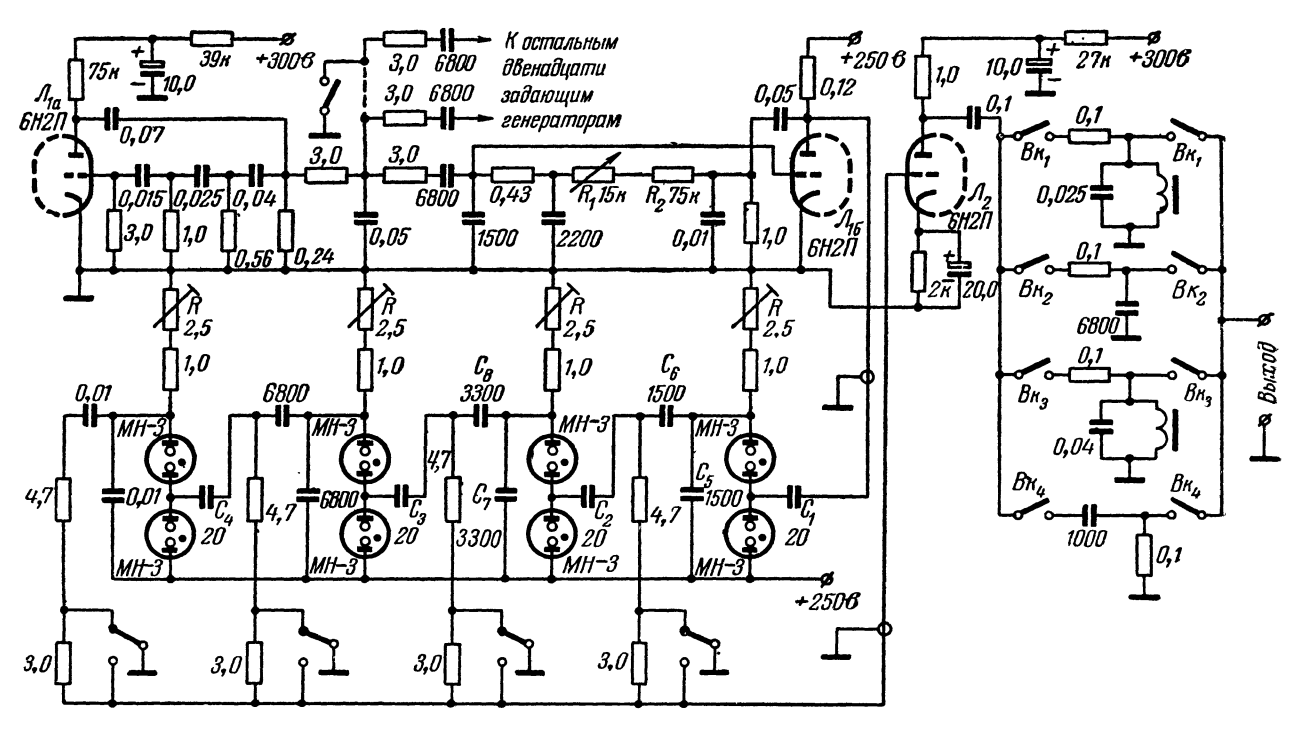



Рис. 42. Схема многоголосного электромузыкального инструмента с делителями частоты на двух неоновых лампах.

устанавливают изменением индуктивности катушки $L_1$ (изменением толщины набора сердечника). Частоту колебаний генератора устанавливают на слух, подключая головные телефоны через конденсатор емкостью 50—100 *пф* к аноду лампы задающего генератора Генератор вибрато при этом должен быть выключен. Настройку лучше всего произвести под хорошо настроенное фортепиано.

Далее надо настроить делители частоты. Сначала настраивают делитель на лампе $НЛ_1$ переменным сопротивлением $R_{23}$ при включенной цепи синхронизации Частота колебаний этого делителя должна быть на октаву ниже частоты задающего генератора, что легко заметить на слух. Устойчивое деление частоты будет наблюдаться при изменении сопротивления в некоторых пределах. При дальнейшем повороте ручки этого сопротивления происходит срыв синхронизации и звук становится дребезжащим. Движок сопротивления устанавливают в середине области устойчивого деления. Делители частоты на лампах $НЛ_{13}$, $НЛ_{25}$ и $НЛ_{37}$ настраивают таким же образом на соответствующие этим тонам частоты. Делитель частоты на лампе $НЛ_8$ настраивают на частоту в 3 раза ниже частоты задающего генератора, а делители на лампах $НЛ_{20}$, $НЛ_{32}$ и $НЛ_{44}$ — на частоты в 2 раза ниже частоты предыдущего делителя частоты.

Следует обратить внимание на то, что все указанные на схеме значения емкостей конденсаторов $C_{12}$, $C_{14}$, $C_{16}$, ..., $C_{26}$ в схемах делителей частоты сильно зависят от многих факторов. Поэтому необходимо сначала приобрести неоновые лампы и собрать опытный делитель частоты по схеме, приведенной на рис. 8. Подключая конденсаторы $C$ различной емкости и изменяя величину сопротивления $R$ от минимального до максимального значения, находят диапазоны частот делителя для различных значений емкости $C$. Лишь после этого можно приобрести необходимые номиналы конденсаторов.

После того как задающие генераторы и делители частоты будут отрегулированы, можно приступить к налаживанию устройства для получения затухающего звука (лампы $Л_5$ и $Л_6$). Электронное реле особой регулировки не требует. Оно должно срабатывать при нажатии любой из клавишей. Необходимо отрегулировать только каскад для получения затухающего звука. Регулировка его заключается в получении плавно затухающего звука путем изменения сопротивления $R_{47}$. При слишком большой величине этого сопротивления звук не затухает полностью, а при слишком малом значении он резко обрывается.

Последним регулируется генератор вибрато. Его регулировка заключается в получении необходимых частоты (5—7 *гц*) и амплитуды выходного напряжения. Для увеличения или уменьшения частоты генератора необходимо соответственно уменьшить или увеличить сопротивление $R_5$. Амплитуду выходного напряжения генератора подбирают изменением величины сопротивления $R_7$. Глубина вибрато устанавливается по вкусу конструктора.

Описанный здесь электромузыкальный инструмент на неоновых лампах использовался в эстрадном оркестре для исполнения джазовых произведений. Практика показала, что имеющихся в инструменте тембров вполне достаточно для этих целей.

В процессе эксплуатации инструмента при изменениях температуры и влажности воздуха возможно нарушение синхронизации некоторых делителей частоты. Устойчивое деление восстанавливает-

ся регулировкой переменного сопротивления в цепи соответствующего делителя частоты. Поэтому при конструировании такого инструмента необходимо предусмотреть легкий доступ к органам регулировки делителей частоты. Этот инструмент является наиболее простым и дешевым из возможных многоголосных электромузыкальных инструментов. Однако стабильность его не очень высока. Поэтому такой инструмент можно рекомендовать только начинающему конструктору, не имеющему опыта постройки и налаживания многоголосных электромузыкальных инструментов.

На рис. 42 приведена схема более совершенного многоголосного электромузыкального инструмента на неоновых лампах. Он собран по блок-схеме с 12 задающими генераторами (см. рис. 2) и охватывает диапазон от «фа» большой октавы до «ми» третьей октавы. Клавиатура имеет 48 клавишей. В инструменте использованы 96 неоновых ламп типа МН-3, семь двойных триодов типа 6Н2П, два стабилитрона (СГ3С и СГ4С) и кенотрон типа 5Ц4С.

Двенадцать задающих $RC$-генераторов собраны по схеме с фазовращающими ячейками на лампах типа 6Н2П. Подстройка задающих генераторов производится переменными сопротивлениями $R_1$, ручки которых выведены на заднюю панель инструмента под шлиц. Сопротивление $R_2$ подбирается при налаживании таким, чтобы необходимая частота генерации получалась при среднем положении движка переменного сопротивления $R_1$. Синхронизирующее напряжение на первый делитель частоты снимается с анода лампы через конденсатор связи $C_1$.

Каждый делитель частоты содержит две неоновые лампы, включенные последовательно. Первый делитель частоты, который синхронизируется от задающего генератора, имеет коэффициент деления, равный единице (он только преобразует синусоидальное напряжение в пилообразное). Остальные каскады синхронизируются от предыдущих делителей и имеют коэффициент деления, равный 2. Синхронизирующие напряжения с предыдущих каскадов делителей частоты на последующие делители подаются через конденсаторы связи $C_2$, $C_3$ и $C_4$. Емкости конденсаторов $C_1$—$C_4$ могут быть одинаковыми для всех делителей частоты электромузыкального инструмента. Они выполнены в виде свитых вместе двух изолированных монтажных проводов, длину которых устанавливают при подборе амплитуды синхронизирующего напряжения делителя частоты.

При таком выполнении конденсаторов связи можно осуществить очень точный подбор амплитуды синхронизирующего напряжения. Это осуществляется следующим образом. Сначала переменным сопротивлением $R$ устанавливают необходимую собственную частоту колебаний делителя (см. стр. 24). На место конденсаторов связи припаивают два одножильных монтажных провода длиной около 20—25 *см* (подбор необходимой амплитуды синхронизирующего напряжения осуществляется при работающих делителях частоты). Постепенно скручивая вместе эти провода, начиная со стороны припаянных концов, можно найти нижний предел амплитуды синхронизирующего напряжения, при котором происходит деление частоты с заданной кратностью. При дальнейшем скручивании этих проводов, что соответствует увеличению емкости связи до некоторого значения (это соответствует верхнему пределу амплитуды синхронизирующего напряжения), будет наблюдаться устойчивая

синхронизация делителя частоты. Увеличение емкости связи сверх этого значения приводит к нарушению синхронизации. Емкость связи берется средняя между найденными значениями.

Контактная система клавиатуры и схемы подключения к ней выходов делителей частоты и входа предварительного усилителя такие же, как в описанной выше конструкции электромузыкального инструмента с делителями частоты на одной неоновой лампе. Пило-

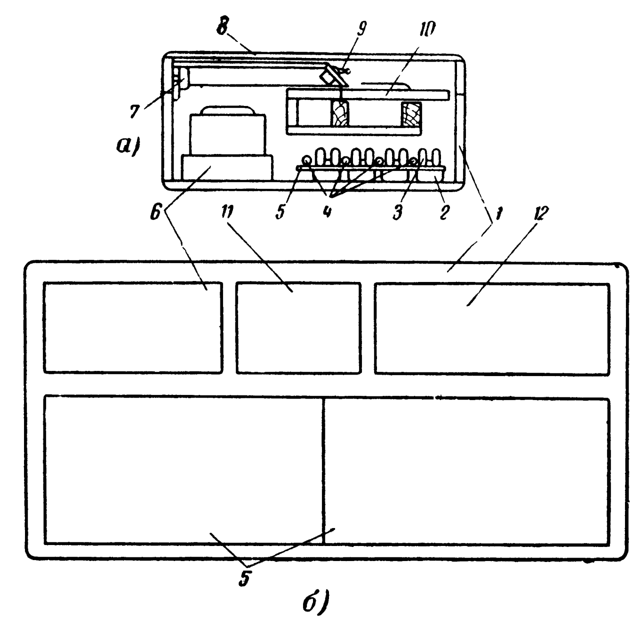



Рис. 43. Размещение узлов в ящике электромузыкального инструмента.

*1* — корпус ящика; *2* — переменное сопротивление настройки делителя частоты; *3* — неоновая лампа; *4* — конденсаторы $C_5$—$C_8$; *5* — платы с делителями частоты; *6* — блок питания; *7* — переменное сопротивление для настройки задающего генератора; *8* — съемная крышка ящика; *9* — переключатель тембра; *10* — клавиатура; *11* — предварительный усилитель с темброблоком; *12* — задающие генераторы и генератор вибрато.

образное напряжение с контактной системы после предварительного усилителя, собранного на одном из триодов лампы $Л_2$, поступает в темброблок. Он состоит из двух формантных контуров и двух цепей *RC*, которые имеют те же данные, что и в предыдущей конструкции. С помощью выключателей $Вк_1$—$Вк_4$ возможно включение формантных и *RC*-цепей в любой комбинации.

Для питания делителей частоты и анодных цепей ламп задающих генераторов используется стабилизированное напряжение 250 *в*, получаемое с последовательно включенных стабилитронов типов

СГЗС и СГ4С. В остальном блок питания не отличается от показанного на рис. 38.

Инструмент смонтирован в фанерном ящике, имеющем форму чемодана размерами 700×350×160 *мм* На рис. 43,*а* показан поперечный разрез инструмента. Делители частоты смонтированы на двух гетинаксовых платах размерами 320×170×3 *мм* и размещены на дне ящика под клавиатурой. Крепление деталей на этих платах осуществляется так же, как и в предыдущей конструкции. Размещение в ящике инструмента блока питания, предварительного усилителя с темброблоком, задающих генераторов и генератора вибрато показано на рис 43,*б*.

Включение тембров производится двухполюсными тумблерами, укрепленными на передней панели инструмента. Чтобы устранить шум при переключении, тумблеры надо разобрать и на их рычаги надеть резиновые трубки.

Налаживание этого инструмента, кроме его делителей частоты, ничем не отличается от налаживания предыдущей конструкции многоголосного электромузыкального инструмента на неоновых лампах.

## ЭЛЕКТРООРГАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАВИАТУРЫ ПИАНИНО

Инструмент собран по блок-схеме с 12 задающими генераторами. Он охватывает диапазон от «до диез» контроктавы до «до» четвертой октавы и имеет 32 комбинации различных звучаний. В инструменте имеются 44 двойных триода. Из них 43 триода типа 6Н3П и один типа 6Н2П.

На приведенной схеме инструмента (рис. 44) показаны один из 12 задающих генераторов, синхронизируемые от него делители частоты на шесть октав, генератор вибрато, предварительный усилитель и темброблок. Остальные 11 задающих генераторов и 30 делителей частоты выполнены по такой же схеме и поэтому на рис. 44 не показаны. Значения емкостей и сопротивлений для них приведены в табл. 2.

Задающий генератор собран на триоде $Л_{1а}$ лампы типа 6Н3П по схеме с трансформаторной обратной связью

Частота генератора в некоторых пределах может быть изменена переменным сопротивлением $R_2$, к которому необходимо обеспечить удобный доступ при настройке инструмента. Трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин Ш-9, толщина пакета 9 *мм.* Анодная обмотка содержит 1 000, а сеточная — 300 витков провода ПЭЛ 0,12.

Синхронизирующее напряжение с анода лампы задающего генератора через конденсатор $C_1$ подается в сеточную цепь лампы $Л_{7а}$ первого делителя частоты. Делители частоты представляют собой блокинг-генераторы Коэффициент деления всех делителей равен двум, кроме первого, коэффициент деления которого равен единице. Обмотки трансформаторов $Тр_2$—$Тр_7$ блокинг-генераторов намотаны на ферритовых кольцах марки Ф-600, имеющих наружный диаметр 9 *мм,* проводом ПШД 0,08. Анодная и сеточная обмотки имеют по 50, а обмотка синхронизации 10 витков. Пилообразное напряжение через цепочки $R_{11}$, $C_{11}$, $R_{14}$, $C_{13}$ и т. д. подается на контактную систему клавиатуры.

Схемы предварительного усилителя, электронного реле и генератора вибрато аналогичны схемам многоголосного электромузы-

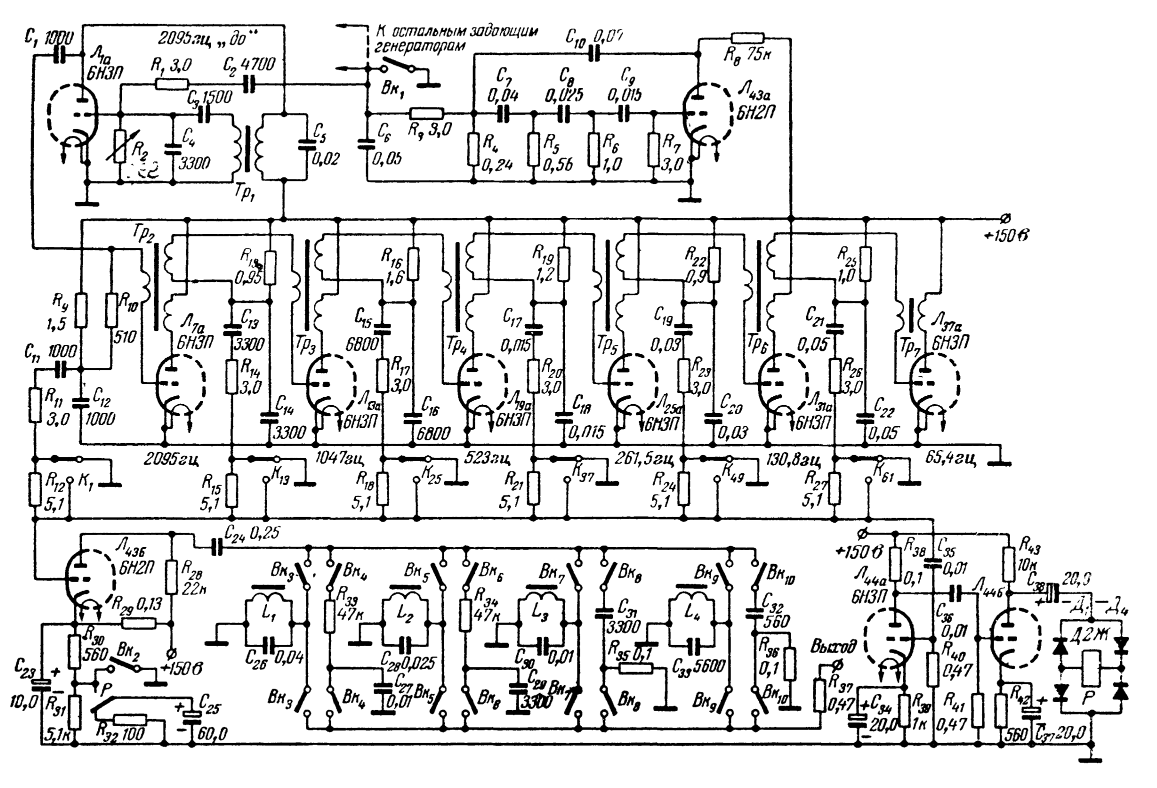



**Рис. 44.** Схема многоголосного электромузыкального инструмента с блокинг-генераторами на электронных лампах.

Таблица 2

| Тон | Делители частоты | | | | | | Задающие генераторы | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_9$, *Мом* | $R_{13}$, *Мом* | $R_{16}$, *Мом* | $R_{19}$, *Мом* | $R_{22}$, *Мом* | $R_{25}$, *Мом* | $C_5$, *мкф* | $C_3$, *мкф* |
| До . . . . . . . . . | 1,5 | 0,95 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | 1 | 0,02 | 1 000 |
| Си . . . . . . . . . | 1,6 | 1 | 1,7 | 1,3 | 0,95 | 1,1 | 0,02 | 1 000 |
| Си бемоль . . . . . | 1,7 | 1,15 | 1,8 | 1,4 | 1 | 1,2 | 0,02 | 1 000 |
| Ля . . . . . . . . . | 1,8 | 1,2 | 1,9 | 1,5 | 1,05 | 1,3 | 0,02 | 1 000 |
| Ля бемоль . . . . . | 1,9 | 1,3 | 2 | 1,55 | 1,1 | 1,4 | 0,03 | 1 500 |
| Соль . . . . . . . . | 2 | 1,4 | 2,1 | 1,6 | 1,15 | 1,5 | 0,03 | 1 500 |
| Ре диез . . . . . . | 2,1 | 1,5 | 2,2 | 1,7 | 1,2 | 1,7 | 0,03 | 1 500 |
| Фа . . . . . . . . . | 2,2 | 1,6 | 2,3 | 1,8 | 1,25 | 1,9 | 0,03 | 1 500 |
| Ми . . . . . . . . . | 2,3 | 1,7 | 2,4 | 1,9 | 1,35 | 2,1 | 0,04 | 1 500 |
| Ми бемоль . . . . . | 2,4 | 1,75 | 2,5 | 1,95 | 1,5 | 2,3 | 0,04 | 1 700 |
| Ре . . . . . . . . . | 2,55 | 1,8 | 2,6 | 2 | 1,6 | 2,5 | 0,04 | 2 000 |
| До диез . . . . . . | 2,7 | 1,9 | 2,7 | 2,1 | 1,7 | 2,7 | 0,04 | 2 000 |

Примечания: 1. Значения емкостей $C_1$, $C_2$, $C_4$ и сопротивлений $R_1$, $R_2$ одинаковы для всех задающих генераторов.

2. Значения сопротивлений $R_{11}$, $R_{14}$ и т. д. для всех делителей частоты одинаковы.

3. Все делители частоты одной октавы имеют значения емкостей, указанные на схеме.

кального инструмента на неоновых лампах, за исключением того, что в электронном реле для выпрямления переменной составляющей анодного тока применен мост с полупроводниковыми диодами $Д_1$—$Д_4$.

Темброблок имеет формантные контуры $L_1C_{26}$, $L_2C_{28}$, $L_3C_{30}$ и $L_4C_{33}$ с резонансными частотами соответственно 500, 1 000, 1 500 и 2 000 *гц* и цепи $R_{33}C_{27}$, $R_{34}C_{29}$, $R_{35}C_{31}$ и $R_{36}C_{32}$. Катушки формантных контуров намотаны на пермаллоевых сердечниках из пластин Ш-9 и имеют соответственно 2 000, 1 500, 1 500 и 1 000 витков провода ПЭЛ 0,15. Все формантные контуры, цепи и переключатель помещены в магнитный экран из стали толщиной 0,5 *мм*.

Включение того или иного тембра производится при помощи восьми отдельных кнопочных переключателей от телефонной аппаратуры на два фиксированных положения. Регулирование громкости осуществляется нажатием ножной педали пианино. При нажатии педали натягивается тросик, намотанный на оси потенциометра. Возврат тросика производится при помощи пружины.

Для питания электромузыкального инструмента служит выпрямитель, схема и описание которого были даны при описании двухканального усилителя. Так как один стабилитрон не может обеспечить стабилизации напряжения для анодных цепей всех ламп, лампы разделены на две равные группы, каждая из которых имеет свои отдельные стабилитрон и выпрямитель.

Конструктивно инструмент состоит из двух основных узлов: контактной системы клавиатуры и блока задающих генераторов

с делителями частоты, темброблоком и блоком получения затухающего звука (не считая выпрямителя и усилителя низкой частоты).

В контактной системе инструмента, разрез которой дан на рис. 45, используются готовые контакты. Сначала контакты закрепляют при помощи скоб на алюминиевой коробке, которая затем крепится к деревянному бруску шурупами и винтами. Здесь же в коробке смонтированы сопротивления ($R_{12}$, $R_{15}$ и т. д.). Длина бруска равна полной длине клавиатуры пианино.

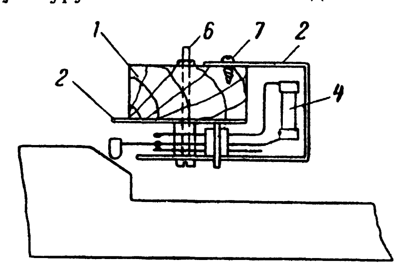



Рис. 45. Разрез контактной системы клавиатуры.

Контактная система крепится к боковым стенкам пианино так, чтобы было возможно менять ее положение относительно клавишей, т. е. можно было регулировать зазор между контактами и клавишами (рис. 46). Для этого в металлической скобе *1* сделан дугообразный вырез, в который входит стержень *2* с резьбой. Через круглое отверстие в скобе проходит стержень *3*, относительно которого скоба *1*, а вместе с нею и контактная система могут поворачиваться в некоторых пределах. Стержни *2* и *3* укреплены на металлической пластине *5*, которая привинчена шурупами к боковой стенке пианино. Фиксация положения контактной системы производится при помощи барашка *4*. Аналогичным образом контактная система крепится к другой боковой стенке пианино.

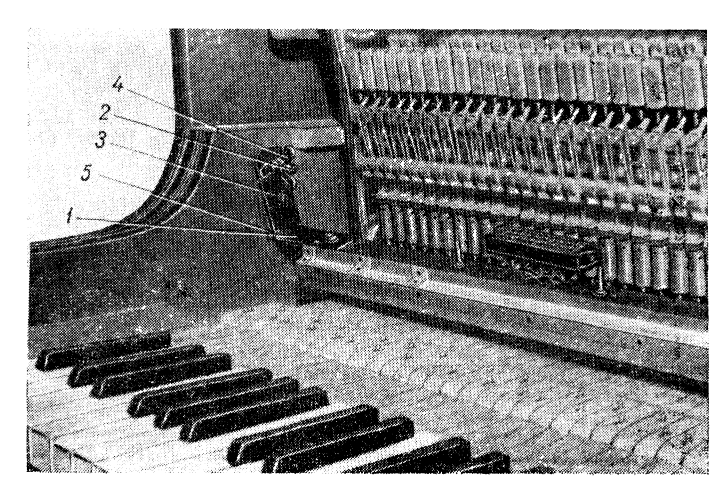
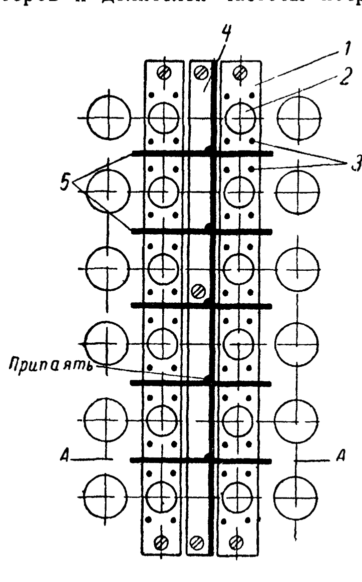



Рис. 46. Крепление контактной системы к клавиатуре пианино.

Контакты устанавливают над соответствующей клавишей так, чтобы при нажатии последней происходило переключение контактов. Чтобы при нажатии клавишей не прослушивался звук пианино, необходимо включить модератор или отрегулировать педаль модератора так, чтобы при крайнем ее положении звука пианино почти не было слышно.

Контактная система соединяется с блоком задающих генераторов и делителей частоты посредством трех экранированных кабелей по 25 жил в каждом. Для подключения этих кабелей к контактной системе клавиатуры имеются три соединительные колодки на 30 проводов. Эти колодки крепятся к деревянному бруску, изображенному на рис 45 и располагаются так, что к каждой из них подходит по 25 проводов от близлежащих контактов. Соединительные кабели на 25 жил получают путем втягивания одножильных монтажных проводов в экранирующую оплетку. Длину соединительных кабелей выбирают в зависимости от местоположения блока делителей частоты.




Вид А

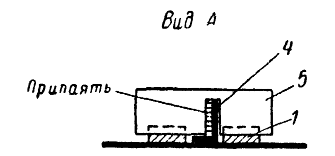



Рис. 47. Крепление и экранировка трансформаторов блокинг-генераторов.

Задающие генераторы, делители частоты, блок получения затухающего звука и темброблок смонтированы на алюминиевом шасси размерами 440×310×70 *мм*.

Трансформаторы *2* блокинг-генераторов укрепляют на пластинах *1* (рис. 47) из органического стекла толщиной *5* и шириной 20 *мм*. В пластинах на $^2/_3$ их толщины высверливают углубления диаметром 12 *мм*. В эти углубления вставляют трансформаторы и заливают их расплавленным парафином. Это позволяет прочно укрепить трансформаторы на пластинах и предохранить их от влаги Выводы обмоток трансформаторов, конденсаторов, $C_{11}$, $C_{13}$, $C_{15}$, ..., $C_{12}$, $C_{14}$, $C_{16}$, ... и сопротивлений $R_{11}$, $R_{14}$, $R_{17}$, ..., $R_9$, $R_{13}$, $R_{16}$ ... припаивают к контактным штырькам *3*. Эти штырьки представляют собой кусочки луженого провода толщиной 0,5 *мм*, вдавленные при помощи горячего паяльника в пластины *1*. Чтобы уменьшить взаимное влияние блокинг-генераторов, устанавливают металлический экран из жести толщиной 0,5 *мм*. Экран состоит из продольного уголка *4* и поперечных пластин *5*. Уголок крепят к шасси винтами а пластины припаивают к уголку. Для лучшей экранировки поперечные пластины *5* входят в пропилы на $^2/_3$ толщины пластины *1* (см. вид *А* на рис. 49). При

таком способе крепления трансформаторов блокинг-генераторов значительно облегчается монтаж делителей частоты, так как перед прикреплением пластин *1* к шасси на них можно распаять концы обмоток трансформаторов, конденсаторы и сопротивления.

Налаживание инструмента начинают с задающих генераторов. Потенциометры $R_2$ устанавливают в среднее положение. Если генератор при этом не возбуждается, то нужно переключить выводы одной из обмоток его трансформатора. Необходимую частоту генерации устанавливают подбором емкости конденсатора $C_5$. Конденсатор $C_4$ улучшает форму кривой напряжения задающего генератора. Настройку генератора на соответствующую частоту необходимо производить при вынутой лампе первого делителя частоты.

Методика и последовательность настройки делителей частоты на блокинг-генераторах уже были подробно изложены (стр. 17—24). Необходимо учесть, что указанные в табл 2 значения сопротивлений получены путем их подбора при налаживании данного инструмента. В каждом конкретном случае их необходимо подобрать Величины некоторых сопротивлений не соответствуют стандартным номинальным значениям. Такие сопротивления составлены из нескольких (обычно не более двух) штук.

Налаживание остальных узлов инструмента производится так же, как и у переносного электромузыкального инструмента на неоновых лампах.

## МНОГОГОЛОСНЫЙ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Многоголосный электромузыкальный инструмент выполнен полностью на транзисторах, за исключением усилителя низкой частоты. Он охватывает диапазон от «фа» контроктавы до «ми» четвертой октавы. Его клавиатура содержит 41 клавишу. Для получения различных тембров применяются гармонический и формантный методы. В инструменте использованы 93 транзистора типа П13, полупроводниковый диод типа Д2Е и четыре диода типа Д7А.

Инструмент содержит 12 задающих генераторов, генератор вибрато, 61 делитель частоты (60 блокинг-генераторов и триггер), пять предварительных усилителей, темброблок и блок питания Подключается он к двухканальному усилителю низкой частоты, схема которого приведена на рис. 31.

На рис. 48 приведена схема транзисторного многоголосного электромузыкального инструмента. На ней показаны один из 12 задающих генераторов (для звука «фа»), синхронизируемые им пять блокинг-генераторов, генератор вибрато, триггерный делитель частоты для низшей октавы, один из пяти предварительных усилителей, темброблок и блок питания инструмента. Остальные 11 задающих генераторов и синхронизируемые ими делители частоты, а также четыре других предварительных усилителя ничем не отличаются от изображенных на схеме и поэтому не показаны.

Задающие *RC*-генераторы собраны по схеме с фазовращающими ячейками на двух транзисторах $T_1$ и $T_2$. Так как частоты задающих генераторов должны лежать в диапазоне 1 397—2 635 *гц*, для облегчения налаживания все задающие генераторы разбиты на четыре группы, различающиеся емкостью конденсаторов $C_1$—$C_4$ фазовращающих ячеек. В первой группе генераторов для тонов

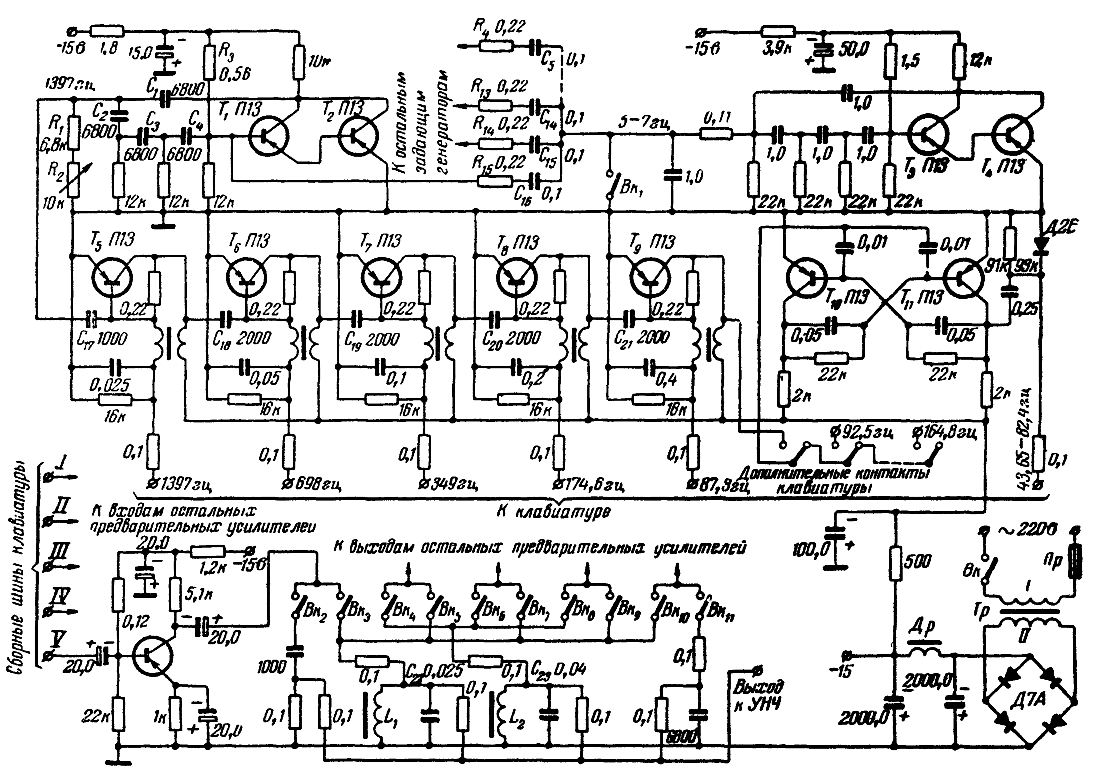



Рис. 48. Схема многополосного электромузыкального инструмента на транзисторах.

«фа» (1 397 *гц*), «фа диез» (1 480 *гц*) и «соль» (1 568 *гц*) емкость этих конденсаторов 6 800 *пф*, во второй для тонов «ля бемоль» (1 660 *гц*), «ля» (1 760 *гц*) и «си бемоль» (1 865 *гц*) — 4 700 *пф*, в третьей для тонов «си» (1 975 *гц*), «до» (2 095 *гц*) и «до диез» (2 215 *гц*) — 3 300 *пф* и в четвертой для тонов «ре» (2 350 *гц*), «ми бемоль» (2 490 *гц*) и «ми» (2 635 *гц*) — 2 400 *пф*.

Сопротивления для всех задающих генераторов берутся одинакового значения. Для настройки инструмента служит переменное

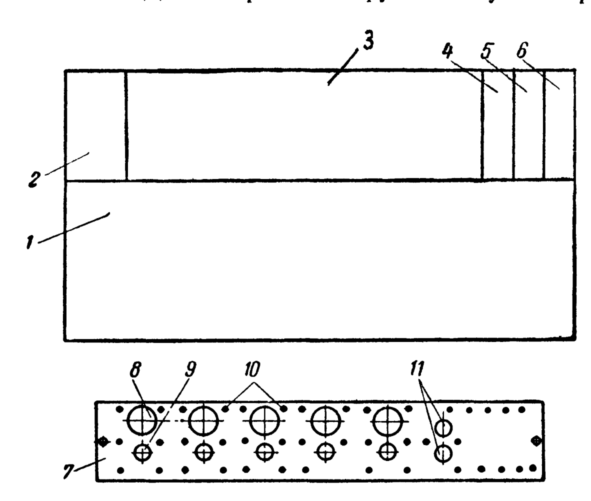



Рис. 49. Расположение деталей и узлов транзисторного электромузыкального инструмента.

*1* — клавиатура; *2* — блок питания; *3* — задающие генераторы и делители частоты; *4* — пассивный делитель частоты и генератор вибрато; *5* — предварительные усилители; *6* — темброблок; *7* — плата с задающим генератором и делителями частоты; *8* — трансформатор блокинг-генератора, *9* — транзистор блокинг-генератора; *10* — контактные штырьки; *11* — транзисторы задающего генератора

сопротивление $R_2$, позволяющее изменять частоту задающего генератора в пределах 1—1,5 тона. Сопротивление $R_1$ подбирается при налаживании задающих генераторов. Рабочую точку транзистора устанавливают подбором сопротивления $R_3$ по максимальной амплитуде генерируемого напряжения.

Генератор вибрато воздействует на все задающие генераторы через цепи $R_4$—$R_{15}$ и $C_5$—$C_{16}$. Для выключения вибрато служит выключатель $Вк_1$.

Синхронизирующее напряжение поступает на первый делитель частоты (транзистор $T_5$) через конденсатор связи $C_{17}$. Коэффициент деления первого делителя частоты равен 1 : 1 (происходит только преобразование формы переменного напряжения). Последующие делители частоты на транзисторах $T_6$—$T_9$ имеют кратность деления 2 : 1. Выбор элементов, а также налаживание делителей частоты были рассмотрены выше (стр. 17—24).

Следует отметить, что транзисторные блокинг-генераторы очень хорошо работают в режиме деления частоты. В случае необходимости амплитуда синхронизирующего напряжения подбирается изменением емкости конденсаторов связи $C_{17}$—$C_{21}$. Данные трансформаторов всех блокинг-генераторов указаны на стр. 20.

Выходы всех делителей частоты соединены с контактной системой клавиатуры, конструкция которой приведена на рис. 24. Так как в инструменте применен гармонический синтез тембров, каждая клавиша имеет пять пар контактов, схема соединений которых показана на рис. 13. Под клавишами самой низкой октавы инструмента имеются дополнительные переключающие контакты от телефонных реле, служащие для подключения входа пассивного делителя частоты (триггера на транзисторах $T_{10}$ и $T_{11}$) к соответствующему делителю. Полная схема коммутации этих контактов приведена на рис. 14. Сборные шины I—V клавиатуры соединяются со входами соответствующих предварительных усилителей, представляющих собой простые однокаскадные усилители напряжения. Выходы предварительных усилителей подключаются к темброблоку через выключатели $Вк_2$—$Вк_{11}$.

Резонансные частоты контуров $L_1C_{22}$ и $L_2C_{23}$ равны соответственно 500 и 1 000 *гц*. Катушки $L_1$ и $L_2$ намотаны на пермаллоевых сердечниках из пластин Ш-9 с зазором 0,1 *мм* и имеют соответственно 2 000 и 1 000 витков провода ПЭЛ 0,15.

Выход электромузыкального инструмента подключен к ножному регулятору громкости и далее к усилителю низкой частоты.

Питание всех транзисторов осуществляется от выпрямителя напряжением 15 *в*. Трансформатор *Тр* выполнен на сердечнике из пластин Ш-20, толщиной пакета 20 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 000 витков провода ПЭЛ 0,17, а обмотка *II* из 200 витков ПЭЛ 0,5. Дроссель фильтра *Др* собран на таком же сердечнике с зазором 0,2 *мм*. Его обмотка выполнена проводом ПЭЛ 0,3 до заполнения каркаса (около 2 000 витков).

Расположение узлов инструмента в ящике и размещение деталей задающего генератора и делителей частоты показаны на рис. 49. Задающие генераторы и делители частоты монтируются на 12 пластинах из органического стекла размерами 220×40×5 *мм*. Для крепления транзисторов и трансформаторов блокинг-генераторов в пластине сверлят отверстия на $^2/_3$ ее толщины диаметром 8 и 12 *мм* соответственно. Трансформаторы закрепляют в углубления расплавленным парафином. Выводы всех деталей припаивают к контактным штырькам, представляющим собой отрезки луженого провода диаметром 0,8 *мм*, вдавленные при помощи горячего паяльника в пластины. Таким же образом монтируются предварительные усилители, генератор вибрато, пассивный делитель частоты и темброблок.

Так как выходное сопротивление транзисторного делителя частоты во много раз ниже лампового, уровень фона и разного рода наводок в нем значительно меньше. Поэтому выходные цепи блокинг-генераторов и соединительные провода контактной системы клавиатуры можно не экранировать.

---